

**ЭКОНОМИКА
СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**CONSTRUCTION ECONOMIC
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

№ 2 (95) – 2025

Основан в 1999 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 № ФС77-63936 от 09 декабря 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Министерства науки и высшего образования 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

Ветрова Н.М., д.т.н., к.э.н. проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

Редакционная коллегия:

Бойченко О.В., (ответственный секретарь) д.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь).

Бакаева Н.В., д.т.н., проф. советник РААСН, (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва);

Кирильчук С.П., д.э.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Любомирский Н.В., советник РААСН, д.т.н. проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

Николенко И.В., д.т.н., проф., (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Овсянникова Т.Ю., д.э.н., проф. (ТГАСУ, Томск)

Пашенцев А.И., д.э.н., к.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Сиразетдинов Р.М., д.э.н., проф. (Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Швец И.Ю., д.э.н., проф. (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва);

Щербаков В.И., д.т.н., проф., (Воронежский государственный технический университет, Воронеж);

Ярош О.Б., д.э.н., доц., (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Голышев А.А., (технический секретарь) к.т.н., доцент (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь)

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

№ 2 (95) – 2025

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 9 от 28.10.2025)

Корректор А.А. Голышев
Верстка А.А. Голышев

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

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

Адрес издателя, редакции: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 4.

Подписан в печать 30.10.2025.

Формат 70 x 100 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 7,56

Тираж 100 экз.

Распространяется бесплатно

Дата выхода в свет:

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
Адрес типографии: 295051,
Республика Крым, г. Симферополь,
бульвар Ленина, 5/7

© ФГАОУ ВО «КФУ им. Вернадского», 2025

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или частично допускается с письменного разрешения Издателя.

СОДЕРЖАНИЕ	
Раздел 1. Региональные проблемы природопользования	
Иванова Ю.П., Соколова Е.В., Коновалов О.В., Иванова О.О., Кленин И.С., Зимницкая А.О., Мензелинцева Н.В. ВЛИЯНИЕ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЛИНЕЙНЫХ ГОРОДОВ	5
Азаров В.Н., Иванова Ю.П., Добринская А.А., Иванова О.О., Соловьева Т.В., Маринина О.Н., Зимницкая А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОРОГ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ	14
Ветрова Н.М., Степаненко К.С. ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ПО НАПОРУ ВОДОПОДАЧЕ НА ОРОШАЕМЫЙ УЧАСТОК	19
Раздел 2. Проблемы организации строительства	
Шаленный В.Т., Смазнов Д.А. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ПЛОСКОЙ НЕЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛИ МНОГOKВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. СИМФЕРОПОЛЕ	27
Жиленко О.Б., Маринич Д.А. СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ ДОМОВ В ПРИРОДНО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ	36
Раздел 3. Экологическая безопасность	
Загидуллина И.А., Болдышева В.К., Шакиров Т.Р. ИННОВАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРЕТНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ И ПОЛИЛАКТИДНЫХ ВОЛОКОН: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ	44
Одинцов А.Н. О ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИ «СЕРОЙ ВОДЫ»	50
Иванова Ю.П., Добринская А.А., Иванова О.О., Кленин И.С., Зимницкая А.О., Мензелинцева Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОЗАЩИТНОЙ ЗЕЛеноЙ ЗОНЫ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ	60
Азаров В.Н., Иванова Ю.П., Иванова О.О., Добринская А.А., Соловьева Т.В. Евдокимов Е.Е., Зимницкая А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОРОГ ГОРОДСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ	67
Раздел 4. Теория и практика управления	
Цопа Н.В., Храмова А.В. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ХЕДХАНТИНГУ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ	74
Бойченко О.В., Фади́на Ю.Ю. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ	84
Наши авторы	92

CONTENT	
Section 1. Regional problems of environmental management	
Ivanova Yu.P., Sokolova E.V., Konovalov O.V., Ivanova O.O., Klenin I.S., Zimnitskaya A.O., Menzelintseva N.V. THE EFFECT OF LANDSCAPING ON THE DISPERSED COMPOSITION OF INDIVIDUAL POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF LINEAR CITIES	5
Azarov V.N., Ivanova Y.P., Dobrinskaya A.A., Ivanova O.O., Solovyova T.V., Marinina O.N., Zimnitskaya A.O. INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION OF FINE DUST IN THE AIR OF ROADSIDE AREAS OF LOCAL ROADS	14
Vetrova N.M., Stepanenko K.S. JUSTIFICATION OF ENERGY SAVING DURING DIFFERENTIATED WATER SUPPLY TO THE IRRIGATED AREA	19
Section 2. Problems of construction organization	
Shalenny V.T., Smaznov D.A. CHOOSING A RATIONAL SOLUTION FOR THE OVERHAUL OF THE FLAT UNUSED ROOF OF AN APARTMENT BUILDING IN SIMFEROPOL	27
Zhilenko O.B., Marinich D.A. CONSTRUCTION AND OPERATION OF MODULAR HOUSES IN THE NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CRIMEA	36
Section 3. Environmental safety	
Zagidullina I.A., Boldysheva V.K., Shakirov T.R. INNOVATIVE ELECTRET FILTERS BASED ON POLYPROPYLENE AND POLYLACTIDE FIBERS: ECOLOGICAL ADVANTAGES AND ECONOMIC POTENTIAL	44
Odintsov A.N. ON THE POSSIBILITY OF SAFE UTILIZATION OF PARTIALLY TREATED "GRAYWATER"	50
Ivanova Yu.P., Dobrinskaya A.A., Ivanova O.O., Klenin I.S., Zimnitskaya A.O., Menzelintseva N.V. INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A GAS-PROTECTED GREEN ZONE ON THE DISPERSED COMPOSITION OF DUST	60
Azarov V.N., Ivanova Yu.P., Ivanova O.O., Dobrinskaya A.A., Evdokimov E.E., Solovieva T.V., Zimnitskaya A.O. INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE CONCENTRATION OF FINE DUST IN THE AIR OF MAINLINE TERRITORIES OF URBAN ROADS ON INFLUENCING FACTORS	67
Section 4. Theory and practice of management	
Tsopa N.V., Khramova A.V. THE CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF COUNTERING HEADHUNTING IN PERSONNEL MANAGEMENT	74
Boychenko O.V., Fadina Yu. Yu. DIGITAL TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION ECONOMY: THE ROLE OF AI IN RISK FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION	84
Our authors	92

Раздел 1. Региональные проблемы природопользования

УДК 504.064.38

**ВЛИЯНИЕ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ОТДЕЛЬНЫХ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЛИНЕЙНЫХ ГОРОДОВ**

Иванова Ю.П.¹, Соколова Е.В.², Коновалов О.В.³, Иванова О.О.⁴, Кленин И.С.⁵,
Зимницкая А.О.⁶, Мензелинцева Н.В.⁷

^{1,3,4,5,6} Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28;

² Северо-Кавказский федеральный университет
355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

⁷ Волгоградский государственный университет
400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100.

e-mail: ¹[ypi26@mail.ru](mailto:yipi26@mail.ru), ²sokolova0584@mail.ru, ³kow373@mail.ru, ⁴dokuch26@mail.ru, ⁵kleninivan01@mail.ru,
⁶ivanova200607@mail.ru, ⁷menzelintseva@volsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами в условиях урбанизированных территорий и промышленных зон. Особое внимание уделено оценке эффективности газозащитных зеленых зон как природоохранного решения, способного снижать концентрацию мелкодисперсной пыли (PM₁₀ и PM_{2.5}) и улучшать качество атмосферного воздуха. Рассматривается влияние озеленения на дисперсный состав пыли на примыкающих территориях линейных городов. Проведен анализ дисперсного состава пыли до и после прохождения через зеленые насаждения с использованием микроскопии и специализированного программного обеспечения SpotExplorer. Результаты исследования подтверждают фильтрующую функцию зеленых зон, демонстрируя снижение доли крупных частиц пыли и изменение их морфологии. Предложен комплекс мер, включая пред проектные решения, архитектурно-планировочные мероприятия и использование устойчивого дендрологического состава, для минимизации пылевого загрязнения в городах с линейной конфигурацией. Выявлены перспективы дальнейших исследований в области оптимизации газозащитных зеленых зон. Представлен дендрологический состав, являющийся наилучшими фильтрами для озеленения примыкающих территорий города. Представлен дендрологический состав зеленых насаждений, применяемый для озеленения примыкающих территорий города.

Цель. Подтверждение гипотезы о фильтрующей роли зеленых насаждений и разработка рекомендаций по их оптимизации для улучшения качества воздуха в городах.

Методы. Для дисперсного анализа пыли использовался микроскоп, а также использовался ПЭВМ. Также было использовано специализированное программное обеспечение, такое как SpotExplorer.

Результаты. В условиях линейного города на территории жилой застройки для борьбы с пылью, целесообразно применять комплекс мер направленных на защиту жилого комплекса посредством специально подобранного дендрологического состава древесно-кустарниковой растительности и ковровых тканей.

Ключевые слова: газозащитные зеленые зоны, ветровые потоки, дендрологический состав, озеленение под кровного пространства, мелкодисперсная пыль, воздушные потоки, автомобильный транспорт, древесно-кустарниковые насаждения, дендрологический состав.

ВВЕДЕНИЕ

Современные урбанизированные территории сталкиваются с возрастающей проблемой загрязнения атмосферного воздуха, среди которой особое место занимает пылевое загрязнение. Мелкодисперсные частицы, такие как PM₁₀ и PM_{2.5}, представляют серьезную угрозу для здоровья человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также оказывая негативное воздействие на экосистемы городских и пригородных зон. Увеличение числа автотранспорта, промышленных выбросов и нерациональная планировка городов усугубляют ситуацию, особенно в линейных городах с высокой плотностью транспортных магистралей. В таких условиях поиск эффективных природоохранных решений становится приоритетной задачей для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития.

Одним из перспективных подходов к снижению пылевого загрязнения является использование газозащитных зеленых зон — специально спроектированных насаждений, выполняющих функции барьера и естественного фильтра. Эти зеленые зоны способны не только уменьшать концентрацию пылевых частиц в воздухе, но и улучшать микроклимат городской среды, снижать шумовой фон и создавать благоприятные условия для отдыха населения. При этом эффективность таких насаждений во многом зависит от правильного подбора дендрологического состава, устойчивого к

автомобильным выбросам (оксидам углерода, азота и пыли), а также от особенностей их планировки и расположения относительно источников загрязнения.

Настоящее исследование направлено на оценку влияния газозащитных зеленых зон на дисперсный состав пыли в условиях примагистральных территорий. В работе использованы современные методы отбора и анализа проб пыли, включая микроскопию и компьютерную обработку данных, что позволяет получить детализированные результаты о морфологии, размере и химическом составе частиц. Целью исследования является подтверждение гипотезы о фильтрующей роли зеленых насаждений и разработка рекомендаций по их оптимизации для улучшения качества воздуха в городах.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследование, представленное в статье, опирается на широкий круг научных публикаций и материалов, охватывающих проблемы загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами, влияние газозащитных зеленых зон на экологию городов и методы анализа дисперсного состава пыли. Анализ литературы позволяет выделить ключевые направления, на которых базируется данная работа, а также выявить пробелы и перспективы дальнейших исследований.

Одной из фундаментальных тем, затронутых в источниках, является оценка выбросов автотранспорта и их воздействия на атмосферу городской среды [1, 2]. Особое внимание уделяется концентрации загрязняющих веществ вблизи автомагистралей, являющихся одним из основных источников пылевого загрязнения в условиях урбанизации.

Значительное внимание в литературе уделено изучению мелкодисперсной пыли и ее влиянию на здоровье населения, а также анализу зависимости концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ от внешних факторов, таких как движение транспорта, что подтверждает необходимость применения барьерных решений [3-6]. Данные работы подчеркивают важность комплексного подхода, включающего как биологические, так и инженерно-планировочные меры.

Методологическая база исследования опирается на современные подходы к анализу пыли [7] описывает использование микроскопии с применением ПЭВМ для дисперсного анализа, что легло в основу методов, примененных в настоящем исследовании. Также было использовано специализированное программное обеспечение, такое как SpotExplorer [8]. Это обеспечивает высокую точность и репрезентативность полученных данных о гранулометрическом составе и морфологии пыли.

Таким образом, используемые публикации и материалы обеспечивают прочную теоретическую и методологическую основу для исследования. Они подтверждают значимость газозащитных зеленых зон как инструмента борьбы с пылевым загрязнением и подчеркивают необходимость дальнейших исследований для повышения их эффективности в условиях современных городов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является оценка эффективности газозащитных зеленых зон как природоохранного инструмента для снижения пылевого загрязнения атмосферного воздуха в условиях урбанизированных территорий, а также определение их влияния на дисперсный состав пыли. Особое внимание уделяется изучению фильтрующей способности зеленых насаждений, оптимизации их дендрологического состава и разработке рекомендаций по улучшению качества воздуха в примагистральных зонах линейных городов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Провести анализ существующих научных данных и публикаций, касающихся пылевого загрязнения воздуха парковых зон и роли зеленых зон в его снижении.
2. Сравнить дисперсный состав пыли до и после прохождения через зеленую зону, выявляя изменения в распределении фракций (от PM_1 до PM_{100}) и морфологических особенностях частиц.

Решение этих задач позволит не только подтвердить гипотезу о роли газозащитных зеленых зон как естественных фильтров, но и предоставить практические рекомендации для градостроителей и экологов, направленные на улучшение экологической ситуации в городах.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Одной из глобальных проблем урбанизированных территорий является загрязнение атмосферы пылевыми частицами. Пыль, в особенности мелкодисперсная фракция (PM₁₀ и PM_{2,5}), представляет значительную угрозу для здоровья человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также оказывая негативное воздействие на экосистемы [13-16].

Одним из перспективных подходов к снижению пылевого загрязнения является создание газозащитных зеленых зон – специально спроектированных насаждений, выполняющих барьерную и фильтрующую функции [17, 18].

Газозащитные зеленые зоны способствуют улучшению микроклимата городской среды, при этом создают благоприятные условия для отдыха. При высадке зеленых насаждений вдоль автомагистралей необходимо учитывать, что основными выбросами автотранспорта являются оксид углерода, оксид азота и пыль, и соответственно подбирать породный состав устойчивый к данным примесям [19, 20].

Пылевидные частицы оказывают на растения разнообразное влияние – физическое и химическое. Физические воздействия пыли на растения связаны с образованием чехла, препятствующего воздействию нормальному тепло- и влагообмену листа с атмосферой и уменьшающего доступ света к растению. Химическое воздействие обусловлено содержанием в пыли водорастворимых соединений. Эти соединения, поступая в растения, оказывают влияние на обмен веществ.

Реакция растений на загрязнения различна, одни не выдерживают загрязнения и гибнут, другие снижают генеративную и репродуктивную производительность, а третьи устойчивы к загрязнениям и не снижают биологического воспроизводства. Чувствительность растения изменяется по мере его роста и развития, и зависит от времени года. Количество осадков, влажность, температура, состояние почвы, включая наличие питательных веществ, освещение и ряд других параметров значительно изменяют реакцию растений на загрязнители, при этом продолжительность и частота воздействия загрязнения весьма существенна.

Изученные нами работы, рассмотрены, исследования указывают на эффективность газозащитных зеленых зон в городах для снижения вредного воздействия автомобильных выхлопных газов. При этом типы деревьев и кустарников, посадок различного дендрологического состава, их архитектурно-планировочная организация весьма существенны, часто определяющие градостроительную основу современного мегаполиса. [13, 14, 21-25] и ряда других ученых определяют организационно-методическую базу создания газозащитных зеленых зон в городах. Это в основном работы, изучающие снижение концентрации оксида углерода газозащитными зелеными зонами в воздухе городов различной архитектоники. При этом оптимизировался тип посадок деревьев и кустарников (особенно в пешеходных зонах), дендрологический состав зеленых зон, технические параметры защитных полос: ширина, высота, тип крон деревьев, их возраст и др. В таблице 1 представлен дендрологический состав, используемый в городах России для очистки атмосферного воздуха [13, 21].

Таблица 1. Наилучшие зеленые фильтры для биологической очистки атмосферного воздуха в городах России

Наименование загрязнений	Наименование насаждений				
	каштан конский обыкновен.	липа мелко- лиственная	акация белая	тополь	Клен остролистный
железо	+	+		+	
марганец	+	+	+		
свинец				+	+
сера		+			+

Во всех рассмотренных нами исследованиях, газозащитные зеленые зоны рассматриваются авторами как фактор, способный уменьшать концентрацию вредных газов, а также мелкодисперсной пыли. Необходимы комплексные исследования и разработки по созданию газозащитных зеленых зон с целью значительного снижения вредных автомобильных выбросов на примыкающих территориях и особенно в зоне жилой застройки. В зонах полупустынь с особо загрязненным воздухом предлагается высаживать и широко использовать для газозащитных зеленых зон, и их эффективного

формирования в линейных городах, следующую растительность: тополь канадский, клен остролистный, ясень обыкновенный, иву белую, яблоню и грушу обыкновенные (домашние), жимолость татарскую, дерн белый, лох узколистый и другие сорта растительности. Доказано, что дерево растет 10 лет, прежде чем начнет эффективно работать на экологическую безопасность защитных полос [26-28].

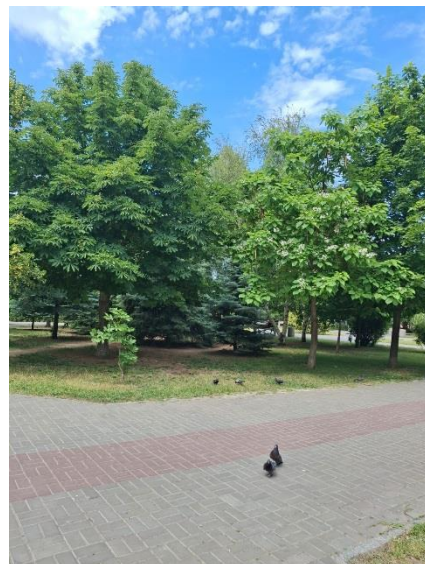
Согласно исследований профессора В.Ф. Сидоренко [29-30] эффективность газозащитных зеленых зон городов меняется в зависимости от технических параметров посадок следующим образом:

- однорядные полосы зеленых зон шириной 5 м минимизируют газозащитную эффективность в пределах 5-7%;
- двухрядная посадка газозащитного кустарника высотой 1,2 - 1,6 м в зеленой зоне поднимает ее эффективность до 20%;
- четырехрядная посадка растений в газозащитной зеленой зоне обеспечивает эффективность до 60%;
- многорядные полосы зеленых зон шириной 10-20 м эффективны на 10-20%;
- многорядные полосы зеленых зон с закрытием подкровного пространства кустарником на 30-75%, обеспечивают эффективность на 15-25%.

Добиться снижения вредного воздействия автотранспорта можно кроме использования правильно подобранного дендрологического состава, так же посредством вида посадки зеленых насаждений в городской черте.



а



б

Рис. 1. Организация посадки газозащитных зеленых зон
а) с закрытием подкровного; б) без закрытия пространства

Отбор проб пыли проводился с использованием стандартизированных методов, включающих сбор осажденной пыли с горизонтальных поверхностей в двух зонах: на расстоянии 1–2 метров перед зеленой зоной (вблизи обочины дороги) и на расстоянии 5–10 метров за ней (рис.1, а, б). Для обеспечения репрезентативности данных отбор проб осуществлялся в течение нескольких дней с учётом метеорологических условий, таких как скорость и направление ветра, влажность воздуха и отсутствие осадков, которые могли бы повлиять на распределение пыли [31-35].

Данный подход позволил получить изображения частиц пыли - рис. 2 (а, б).

Анализ с помощью микроскопа и программы SpotExplorer обеспечил высокую точность в определении гранулометрического состава пыли, включая распределение частиц по фракциям (от PM_{10} до PM_{100}). Программа SpotExplorer автоматически классифицировала частицы по их размеру, форме и оптическим характеристикам, что позволило выделить ключевые различия в дисперсном составе пыли до и после прохождения через зеленую зону.

Например, предварительные результаты показали, что перед растительным барьером преобладают частицы размером 10–50 мкм, тогда как за барьером доля таких частиц существенно снижается, что подтверждает фильтрующую функцию зеленой зоны. Кроме того, были зафиксированы различия в морфологии частиц: перед барьером чаще встречались угловатые минеральные частицы.

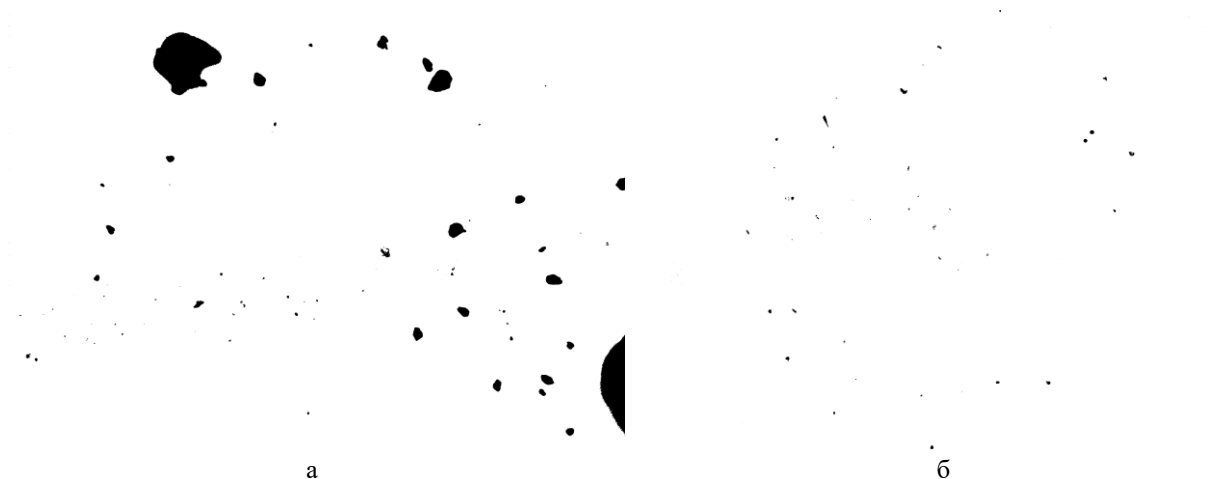


Рис. 2. Фотография частиц пыли
а-до ГЗЗ; б-после ГЗЗ

Используя в SpotExplorer полученные фотографии частиц пыли, получили зависимости объемной доли от диаметра частиц для проб, отобранных перед газозащитной зеленой зоной вблизи с дорогой (рис. 3).

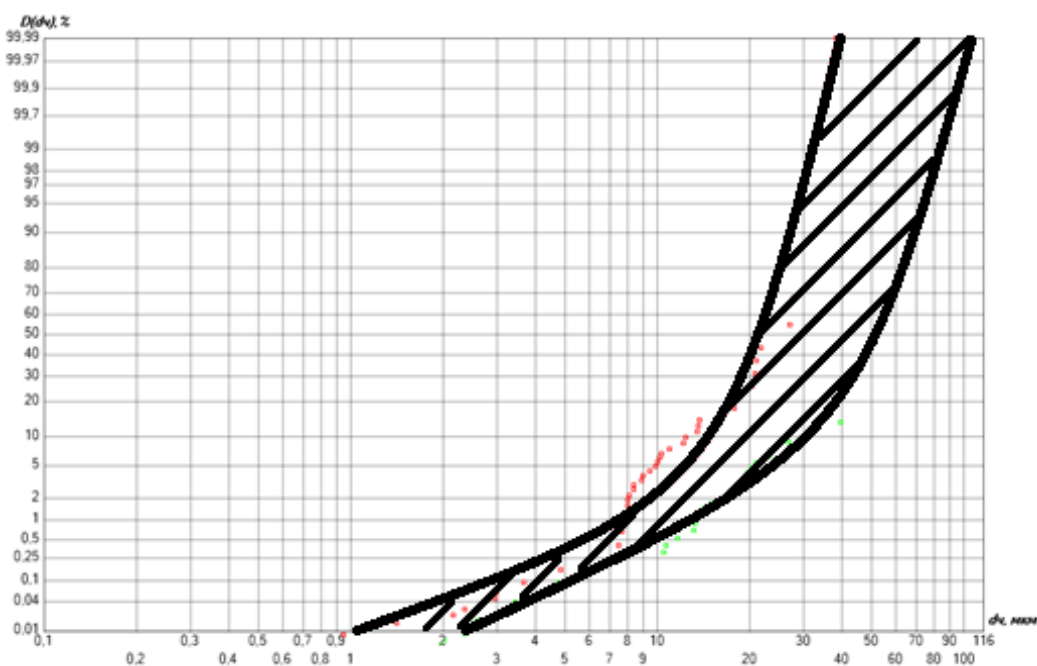


Рис. 3. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученный при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны

Анализируя полученный диапазон на рисунке 3, можем сказать, что минимальному диаметру соответствует 1,1 мкм, самому крупному 105 мкм. Для 50% соответствует размер частиц в 35 мкм, соответственно, можем сделать промежуточный вывод, что вблизи дороги большое количество разных диаметров частиц, но преобладают крупные.

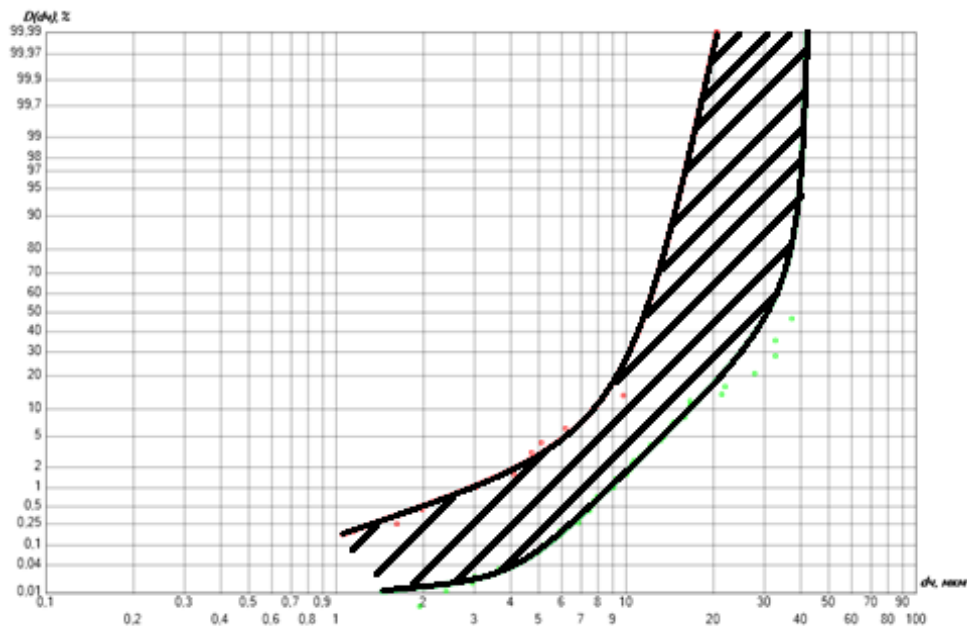


Рис. 4. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученный при анализе пробы, отобранной после газозащитной зеленой зоны

Смотря на полученный диапазон зависимости объемной доли частиц от их диаметра на рисунке 4, делаем вывод, что размер частиц, отобранных после газозащитной зеленой зоны начинается от 1,1 мкм, не превышает 45 мкм и для 50% соответствует 18 мкм.

Рисунки 3 и 4 позволяют нам визуально оценить воздействие газозащитной зеленой зоны на запыленность городской среды, а именно – уменьшение размера частиц пыли после зеленой зоны. Благодаря зеленым насаждениям часть пыли оседает на поверхности растений, тем самым снижая запыленность городской среды. То есть газозащитные зеленые зоны выступают в качестве естественного фильтра.

ВЫВОДЫ

Таким образом подводя итог всему выше сказанному, в условиях линейного города на территории жилой застройки для борьбы с пылью, целесообразно применять комплекс мер:

1. Защитные мероприятия жилого комплекса (применение газозащитных зеленых зон как естественных фильтров, позволяющих снизить ветровую нагрузку и обеспечить улавливание пылевых частиц, находящихся в воздухе);
2. Использовать для озеленения специально подобранный дендрологический состав древесно-кустарниковой растительности и ковровых тканей, устойчивый к загрязнению атмосферного воздуха;

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты настоящего исследования подтверждают эффективность газозащитных зеленых зон как естественных фильтров для снижения пылевого загрязнения атмосферного воздуха, однако они открывают новые горизонты для углубленного анализа и практического применения.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на решение ряда актуальных задач, которые позволят расширить научную базу и повысить практическую значимость предлагаемых мер.

Во-первых, перспективным направлением является изучение химического состава пыли до и после прохождения через зеленые зоны. Анализ содержания тяжелых металлов, органических соединений и других загрязняющих веществ поможет определить, насколько насаждения способны не только улавливать частицы, но и нейтрализовать их токсичные компоненты. Это особенно актуально для промышленных зон и территорий с интенсивным движением автотранспорта.

Во-вторых, необходимо исследовать влияние дендрологического состава и структуры посадок на эффективность барьерной функции. Сравнение различных комбинаций древесно-кустарниковых пород, включая их высоту, плотность кроны и сезонные изменения (лиственные и хвойные

насаждения), позволит оптимизировать проектирование газозащитных зон с учетом местных экологических и эстетических требований.

Таким образом, дальнейшие исследования должны быть направлены на углубление знаний о механизмах фильтрации пыли, оптимизацию проектирования зеленых зон и их интеграцию в городскую среду, что в конечном итоге обеспечит более устойчивые и экологически безопасные урбанизированные территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренин, Н.С. К оценке выбросов автотранспорта в атмосферу и загрязнения воздуха вблизи автомагистралей [Текст] / Н.С. Буренин, Р.И. Оникул, И.И. Соломатина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 1997. – № 436. – С. 102.

2. Ветрова, Н.М. Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства / Н.М. Ветрова, Т.В. Вереха, Э.Э. Меннанов, Д.В. Судьева // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 1-2(82-83). – С. 145-151.

3. Сидельникова, О.П. Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов / О.П. Сидельникова, Ю.П. Иванова, О.О. Иванова, А.А. Сахарова, Р.А. Лясин, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – С. 7. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7882>.

4. Николенко, Д.А. О влиянии градостроительных решений и зеленых газозащитных зон на качество воздушной среды примыкающих территорий / Д.А. Николенко, А.Н. Васильев, Ю.П. Иванова, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, В.Н. Азаров, А.А. Чернущенко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2. – С. 10 – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441>.

5. Иванова, Ю.П. Основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на придорожных территориях линейного города / Ю.П. Иванова, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, Д.М. Лепехина, О.П. Сидельникова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8. – С. 8. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7874>.

6. Иванова, Ю.П. Проверка применимости закона распределения мелкодисперсной пыли для различных категорий дорог / Ю.П. Иванова, Е.О. Брызгина, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. С. 11. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7885>.

7. Азаров, В. Н. Дисперсный анализ методом микроскопии с применением ПЭВМ / В. Н. Азаров, А. В. Ковалева, Н. М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 18–20 мая 1999 года. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 1999. – С. 76-78.

8. Зайцева, Н.В. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников / Н. В. Зайцева, И. В. Май, А. А. Макс, С. Ю. Загороднов // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 5. – С. 19-23.

9. Kokoulin, A.N. Multiscale Optical PM2.5 Particles Recognition and Sorting System in Dust Probes / A.N. Kokoulin, A.A. Yuzhakov, R.A. Kokoulin // 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Croatia, 2020. – pp. 1–6. DOI: 10.23919/SpliTech49282.2020.9243759

10. Künzli, N. Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment. / N. Künzli, R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, H. Sommer // The Lancet. – 2000. – Vol. 356, Issue 9232. – pp. 795–801. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2

11. Cohen, A.J. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. / A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnett, et al. // TheLancet. – 2017. – Vol. 389, Issue 10082. – pp. 1907–1918. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6

12. Шелмаков, С. В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте / С. В. Шелмаков, Ю. В. Трофименко, А. В. Лобиков. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-7962-0235-7.

13. Растяпина, О. А. Совершенствование методов проектирования городских газозащитных зеленых зон от выбросов автотранспорта [Текст] :дис. ... канд. техн. наук / Растяпина О. А. – Волгоград, 2003.
14. Полковникова, Л. С. Влияние дендрологического состава зеленых насаждений на оптимизацию городской среды [Текст] / Л. С. Полковникова, Ю. П. Иванова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2009. – Вып. 15 (34). – С. 206-209. – Библиогр.:с. 209 (3 назв.)
15. Barikayeva, N. About Forecasting Air Pollution in the Construction of Highways / N. Barikayeva, D. Nikolenko, J. Ivanova // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042016/pdf.
16. Аксенов, И.Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И.Я. Аксенов, В.И. Аксенов. – М.: Транспорт, 2012. – 175 с.
17. Шеина, С.Г. Совершенствование методов организационно-технологического проектирования при реконструкции городской застройки с учетом экологических факторов / С.Г. Шеина, Л.В. Гиря // Инженерный вестник Дона, 2011 – №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/703.
18. Азаров, В. Н. О законе распределения среднебалансовой концентрации загрязняющих веществ в атмосфере районов мегаполиса [Текст] / В. Н.Азаров, Т. В. Донцова, Д. С. Хегай // Материалы 4-й международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах».– Брянск, 2015.– Т. 2.– С. 7–10.
19. Азаров, В. Н. Концепции биосферной совместимости и экологического следа и их роль в достижении экологически устойчивого развития урбанизированных территорий [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Социология города.– 2013.– №1.– С. 39–45.
20. Мензелинцева, Н. В. Основы управления качеством воздушной среды [Текст]: учеб. пособие / Н. В. Мензелинцева. – Волгоград : Изд-во ВолГАСА, 1995. – 53 с.
21. Балакин, В.В. Исследование эффективности градостроительных мероприятий по охране атмосферного воздуха от загазованности выбросами автомобильного транспорта: Дис. канд. техн. наук / В.В. Балакин: – М., 1981.
22. Кириллов, Г.П. Прогнозирование загрязнений воздуха жилых территорий городов выхлопными газами автотранспорта и градостроительные мероприятия по его уменьшению: Дис. канд. техн. наук / Г.П. Кириллов. – Волгоград, 1973.
23. Санкина, Т.И. Исследование распространения автомобильных выбросов на территориях городских транспортных пересечений в одном уровне: Дис. канд. техн. наук / Т.И. Санкина. – Москва, 1987.
24. Фельдман, Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха / Ю.Г. Фельдман. – М.: Медицина, 1975. –158 с.
25. Илькун, Г.М. Загрязнение атмосферы и растения / Г.М. Илькун. – Киев, 1978. – 247с: ил.
26. Иванова, Ю.П. Проблемы зеленой экологии г. Волгограда / Ю.П. Иванова, А.Г. Косовцева // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России. Материалы II студенческой научно-технической конференции. – 2008, Волгоград. – С. 72-75.
27. Растяпина, О.А. Анализ системы озеленения автотранспортных магистралей / О.А. Растяпина // Междунар. конф. стран СНГ «Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения» Ч. 2. – М., 1999. – С. 58-60.
28. Растяпина, О.А. Экономическая эффективность защитного озеленения автомагистралей / О.А. Растяпина // Науч. тр. /Волгог. Гос. Технич. Универ. – 200. – Вып. 2. – С. 102-109.
29. Сидоренко, В.Ф. Исследование и применение градостроительных мероприятий по защите жилой застройки от выхлопных газов автотранспорта: Дис. канд. техн. наук / В.Ф. Сидоренко. — Волгоград, 1970.
30. Сидоренко, В.Ф. Программа подбора озеленения городских улиц с целью снижения концентрации оксида углерода до предельно-допустимого значения в жилой зоне застройки. / В.Ф. Сидоренко, О.А., Растяпина // Науч. – практич. конф. Южного регионального отделения РААСН. «2002 год – год Волгоградской области в ЮРО РААСН. Первые итоги». – Волгоград, 2003. – 120 с.

31. Александров, В.Ю. Экологические проблемы автомобильного транспорта / В.Ю. Александров, Л.И. Кузубова, Е.П. Яблокова. – Новосибирск, 1995. – 113 с.

32. Промышленная экология: учебник для высших учебных заведений Министерства образования и науки Российской Федерации / под общ. ред. В.В. Гутенева. – 2-е изд., доп. – М. – Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2013. – 460 с.,

33. Иванова, Ю.П. Проблемы экологии в дорожном комплексе промышленных центров / Ю.П. Иванова // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций: Материалы III научно-технической конференции. Волгоград, ВолгГАСА, 2003. – С. 141-143.

34. Азаров, В. Н. Концепции биосферной совместимости и экологического следа и их роль в достижении экологически устойчивого развития урбанизированных территорий [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Социология города. – 2013. – №1. – С. 39–45.

35. Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн // Перевод с английского под редакцией докт. хим. наук Н.А. Фукса / Издательство «Химия» Ленинградское отделение, 1972.

THE EFFECT OF LANDSCAPING ON THE DISPERSED COMPOSITION OF INDIVIDUAL POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF LINEAR CITIES

¹Ivanova Yu.P., ²Sokolova E.V., ³Konovalov O.V., ⁴Ivanova O.O., ⁵Klenin I.S.,
⁶Zimnitskaya A.O., ⁷Menzelintseva N.V.

^{1,3,4,5,6} Volgograd State Technical University

² North Caucasus Federal University

⁷ Volgograd State University

Annotation. The article discusses the current problem of atmospheric air pollution by dust particles in urbanized areas and industrial zones. Special attention is paid to assessing the effectiveness of gas-protective green zones as a nature-saving solution that can reduce the concentration of fine dust (PM₁₀ and PM_{2.5}) and improve the quality of atmospheric air. The article examines the impact of landscaping on the dispersion of dust in the near-road areas of linear cities. The analysis of the dispersion of dust before and after passing through green spaces was conducted using microscopy and specialized software, SpotExplorer. The study results confirm the filtering function of green areas, demonstrating a decrease in the proportion of large dust particles and a change in their morphology. A set of measures has been proposed, including pre-design solutions, architectural and planning measures, and the use of sustainable dendrological composition, to minimize dust pollution in cities with a linear configuration. The prospects for further research in the field of optimizing gas-protective green zones have been identified. The dendrological composition that provides the best filters for landscaping the city's main roads has been presented. The dendrological composition of green spaces used for landscaping the city's main roads has been presented.

Keywords: gas-protected green zones, wind flows, dendrological composition, landscaping of the indoor space, fine dust, air flows, automobile transport, tree and shrub plantations, dendrological composition.

УДК 504.064.38

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОРОГ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Азаров В.Н.¹, Иванова Ю.П.², Добринская А.А.³, Иванова О.О.⁴,
Соловьева Т.В.⁵, Маринина О.Н.⁶, Зимницкая А.О.⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28; e-mail: ¹azarovpubl@mail.ru, ²yri26@mail.ru, ³sax.nastya@yandex.ru,
⁴dokuch26@mail.ru, ⁵tatianasolovyova2010@yandex.ru, ⁶day.meednight@gmail.com, ⁷ivanova200607@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлено исследование факторов, влияющих на концентрацию и распространение мелкодисперсной пыли на примагистральных территориях дорог местного значения (частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм - PM_{10} , и менее 2.5 мкм - $PM_{2.5}$). Рассмотрены десять ключевых факторов, влияющих на формирование, перенос и осаждение мелкодисперсной пыли, включая метеорологические условия (скорость и направление ветра, влажность, температура), характеристики дорожного покрытия, интенсивность транспортного потока, типы транспортных средств. Рассмотрены факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на примагистральных территориях дорог местного значения.

Цель. Исследование влияния ряда факторов, таких как скорость транспортного потока, интенсивность движения, тип дорожного покрытия и метеорологические условия на концентрацию пыли PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе примагистральных территорий дорог местного значения.

Методы. Для определения концентрации мелкодисперсной пыли $PM_{2.5}$, PM_{10} проводились экспериментальные исследования на примагистральных территориях дорог местного значения. С обработкой полученных параметров по программе STATISTIKA 10.

Результаты. Получены уравнения линейной регрессии для дорог местного значения. Выделены значимые факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на примагистральных территориях.

Ключевые слова: линейный город, автомобильный транспорт, дороги местного значения, примагистральная территория, загрязняющие вещества, мелкодисперсная пыль

ВВЕДЕНИЕ

Мелкодисперсная пыль, образующаяся на дорогах местного значения, представляет собой значимую экологическую и социальную проблему, оказывающую влияние на здоровье населения, состояние окружающей среды и эксплуатационные характеристики дорожной инфраструктуры [1-3]. Основными источниками пылеобразования являются износ дорожного покрытия, движение транспортных средств, природные факторы, такие как ветер и осадки, а также факторы антропогенного воздействия, включающие в себя строительные работы и сельскохозяйственную деятельность. Особое внимание в исследованиях уделяется частицам PM_{10} и $PM_{2.5}$, которые способны проникать в дыхательные пути человека, вызывая негативные последствия для здоровья [4-6].

Дороги местного значения, часто характеризующиеся низким качеством покрытия и высокой интенсивностью пылеобразования, требуют систематического изучения факторов, влияющих на эмиссию мелкодисперсной пыли [7-9]. Несмотря на значительное количество работ, посвященных пылеобразованию на автомагистралях, исследования для дорог местного значения проводятся в недостаточном объеме. Это обусловлено их неоднородностью, разнообразием типов покрытий (грунтовые, гравийные, асфальтовые) и локальными особенностями эксплуатации [10].

Настоящая статья посвящена анализу ключевых факторов, определяющих уровень загрязнения мелкодисперсной пылью придорожных территорий дорог местного значения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследования мелкодисперсной пыли, образующейся на дорогах, активно проводятся в различных странах, однако основное внимание уделяется дорогам городского и районного значения с более интенсивным движением транспортных потоков.

В работах [11, 12] подчеркивается, что частицы PM_{10} и $PM_{2.5}$, выделяющиеся в результате износа дорожного покрытия и шин, а также выхлопных газов, являются ключевыми загрязнителями

атмосферного воздуха. Эти частицы способны оседать в дыхательных путях, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания [13-17].

Для дорог местного значения, часто имеющих грунтовое или гравийное покрытие, исследования ограничены. В публикациях [18, 19] отмечается, что пылеобразование на таких дорогах зависит от типа покрытия, скорости и массы транспортных средств, а также метеорологических условий (влажность, скорость ветра). Однако данные о составе мелкодисперсной пыли и ее количественных характеристиках в таких условиях недостаточны изучены и освещены в литературных источниках. В работе [20] описаны методы пылеподавления, включая применение химических реагентов и увлажнение, но их эффективность для дорог местного значения требует дополнительного изучения.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является исследование влияния ряда факторов, таких как скорость транспортного потока, интенсивность движения, тип дорожного покрытия и метеорологические условия на концентрацию пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе примагистральных территорий дорог местного значения.

Исследование направлено на решение следующих задач:

1. Определить основные факторы, влияющие на концентрацию пыли в воздухе примагистральных территорий дорог местного значения.

2. Получить уравнения регрессии, отражающие зависимость концентраций пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ от основных влияющих факторов с определением коэффициентов корреляции.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В ходе исследования были получены уравнения линейной регрессии, устанавливающие связь между – концентраций мелкодисперсной пыли ($PM_{2,5}$, mg/m^3 ; PM_{10} , mg/m^3) с десятью основными факторами, определяющими степень загрязнения атмосферного воздуха вблизи дорог местного значения.

Исходные данные собраны в ходе натурных исследований, в 8 районах линейного города Волгограда на примагистральных территориях, где было отобрано 95 точек для измерения концентрации мелкодисперсной пыли. Эти территории условно разделены по интенсивности движения на категории: магистрали городского значения, магистрали районного значения и магистрали местного значения, включающие дороги селитебных зон, внутриквартальные и внутридворовые проезды. Количество точек для замеров определено для обеспечения достоверной вероятности $\alpha=0,05$, что потребовало проведения измерений в 95 мониторинговых точках с трехкратным повторением контрольных замеров. Интервалы изменения параметров приведены в таблице 1.

К магистралям местного значения на обследуемой территории относятся улицы: Кузнецова, Репина, К. Либкнехта, Гагарина и др. Селитебная зона слева вдоль улиц преимущественно представлена частным сектором и 5-ти этажными жилыми домами. Справа преимущественно 5-ти этажные жилые дома и частная одноэтажная застройка, газозащитная зеленая зона (ГЗЗ) представлена 1-2 рядной посадкой деревьев. Дендрологический состав ГЗЗ в основном представлена: тополем обыкновенным, кленом раскидистым, акацией белой, вязом мелколистным, реже елью обыкновенной. Дорожное покрытие преимущественно выполнено асфальтом, в частном секторе преобладает грунтовое покрытие.

Рассматриваемые факторы характеризуют как особенности транспортной инфраструктуры и уровень интенсивности движения, так и метеорологические условия, влияющие на процесс формирования, рассеивания и осаждения пылевых частиц.

Интенсивность транспортного потока, измеренная как $J_1 = 200-800$ авт/час для легковых автомобилей и $J_2 = 10-90$ авт/час для грузовых, также играет важную роль. Максимальная концентрация пыли фиксировалась при $J_1 = 300-500$ авт/час на грунтовых и гравийных покрытиях.

Таблица 1. Таблица для нормирования значений факторов (дороги местного значения)

фактор	Диапазон изменений	Интервал варьирования Δx	Середина диапазона x_{cp}
L — длина участка, км;	0,15-0,55	0,2	0,35
J_1 — интенсивность легковых автомобилей, авт/час;	200-800	300	500
J_2 — интенсивность грузовых автомобилей, авт/час;	10-90	40	50
V_a — средняя скорость движения транспортного потока, км/час;	35-50	7,5	42,5
α — продольный уклон проезжей части, градусы;	2-6	2	4
φ — относительная влажность воздуха, %;	30-46	8	38
t — температура воздуха, $^{\circ}C$;	20-32	6	26
V_v — скорость ветра, м/с;	3-7	2	5
θ — угол ветра к дороге, в градусах;	4-90	43	47
Q — давление, мм рт.ст.;	740-750	5	745
$PM_{2,5}$ — концентрация пыли, mg/m^3 ;	10,6-16,8	3,1	13,7
PM_{10} — концентрация пыли, mg/m^3 ;	54,2-149,2	47,5	101,7
$P_{сум.}$ — общая пыль, mg/m^3 .	77,9-185,2	53,65	131,55

Для дорог местного значения объем выборки равен 31 измерению. Во всех уравнениях регрессии включены только значимые переменные. Расчеты показали, что для дорог местного значения имеет место линейная регрессия. Все коэффициенты полученных уравнений регрессии были проверены на значимость с помощью t -критерия Стьюдента при уровне значимости, равном 0,05, а так же для каждого уравнения вычислен множественный коэффициент корреляции, характеризующий тесноту связи между зависимой переменной и всеми остальными факторами.

Кроме того, проверялось общее качество каждого полученного уравнения регрессии. Оценка значимости уравнения множественной регрессии осуществлялась на основе F -критерия Фишера при уровне значимости, равном 0,05. По каждой выборке рассчитывалось фактическое значение F -критерия, которое сравнивалось с критическим значением F -распределения. Результаты проверки показаны в таблице 2 для всех типов дорог.

Таблица 2. Проверка адекватности уравнения регрессии на основе F -критерия Фишера

Значение дорог	Концентрация пыли	Объем выборки	Фактическое значение F -критерия	Критическое значение F -распределения
Местного	$PM_{2,5}$	31	$F(10,20) = 10,655$	$F_{кр} = 2,348$
	PM_{10}		$F(10,20) = 15,267$	
	$P_{сум.}$		$F(10,20) = 14,135$	

Из таблицы 2 следует, что во всех случаях вычисленное фактическое значение F -критерия Фишера превышает критическое значение F -распределения. Следовательно, все полученные уравнения регрессии значимы.

Полученные линейные уравнения регрессии и соответствующие им коэффициенты корреляции указаны в таблице 3.

Таблица 3. Линейные уравнения регрессии для дорог местного значения

Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции R
$Y_1 = 0,072581 + 0,002051x_1 + 0,003723x_4 - 0,005215x_5 - 0,001312x_6 - 0,003026x_9$	0,86
$Y_2 = 0,30006 + 0,010868x_2 - 0,091235x_6 + 0,014554x_9$	0,94
$Y_3 = 0,222541 + 0,011268x_2 - 0,010358x_3 - 0,062316x_6$	0,94

ВЫВОДЫ

Таким образом, для дорог местного значения значимыми являются следующие факторы:

- для концентрации пыли PM_{2,5} — длина участка, средняя скорость движения транспортного потока, продольный уклон проезжей части, относительная влажность воздуха, угол ветра к дороге;
- для концентрации пыли PM₁₀ — интенсивность легковых автомобилей, относительная влажность воздуха, угол ветра к дороге;
- для концентрации общей пыли PM_{сум} — интенсивность легковых автомобилей, интенсивность грузовых автомобилей, относительная влажность воздуха.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для углубления понимания механизмов пылевого загрязнения рекомендуется расширить выборку измерений, включив дополнительные типы дорог и сезоны, а также провести анализ химического состава частиц PM_{2,5} и PM₁₀ для выявления их источников. Кроме того, дальнейшие исследования могут быть направлены на моделирование взаимодействия факторов в условиях сложной городской застройки и разработку интегрированных систем мониторинга в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров, В.Н. Об исследовании аэродинамических характеристик асбестоцементной пыли в выбросах в атмосферу / В. Н. Азаров, О. В. Бурлаченко, Р. А. Бурханова, Н. А. Маринин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2012. – Вып. 1(20). Электронный ресурс – ISSN 1994-0351. www.vestnik.vgasu.ru
2. Азаров, В.Н. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов / В.Н. Азаров, С.А. Кошкарев // Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – №43. – С. 161-174.
3. Азаров, В.Н. Экспериментальные исследования закономерностей распространения и оседания цементной пыли в воздухе рабочей зоны оператора линии упаковки цемента [Текст] / Азаров В.Н, Мензелинцева Н.В., Фомина Е.О. // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство. Материалы международной конференции посвященной 60-летию образования Вуза. – Волгоград, 2012. – С. 83-87.
4. Азаров, В.Н. Problems of protection of urban ambient air pollution from industrial dust emissions [Электронный ресурс] / В.Н. Азаров, Н.М. Сергина, Т. Кондратенко // MATEC Web of Conferences. Vol. 106 : International Science Conference SPbWOSCE-2016 «SMART City» (St. Petersburg, Russia, November 15-17, 2016) / ed. by V. Murgul ; the Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Institute of Civil Engineering. – [Publisher: EDP Sciences], 2017. – URL: <https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/contents/contents.html>.
5. Устройство для определения дисперсного состава пыли [Текст]: пат. 135806 Рос. Федерация: МПК G01N 15/00 / Маринин Н.А. [и др.]. патентообладатель ФГБОУ ВПО "Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет" – № 2013121082/28; заявл. 07.05.2013; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35. – 4 с.

6. Медников, Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей / Е. П. Медников. – М. : Наука, 1981. – 176 с.
7. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов, - 3-е изд., перераб. – Л. : Химия, Ленингр. отделение, 1987.
8. Фукс, Н. А. Механика аэрозолей / Н. А. Фукс. – М. : АН СССР, 1955. – 353 с.
9. Азаров, В.Н. Анализ закономерностей оседания пылевых частиц в рабочей зоне оператора карусельной машины отделения упаковки цемента [Текст] / Азаров В.Н., Карапузова Н.Ю., Стефаненко С.И.// Научные труды SWold, 2011: – Т.5., №3. – С.44-46.
10. Азаров, В.Н. Aerodynamic Characteristics of Dust in the Emissions Into the Atmosphere and Working Zone of Construction Enterprises / В.Н. Азаров, А.И. Evtushenko, В.П. Батманов, А.Б. Стреляева, В.В. Лупиногин // International Review of Civil Engineering. – 2016. – Vol. 7, No. 5. – С. 132-136.
11. Thorpe A., Harrison R.M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. Sci. Total Environ. 2008;400:270–282.
12. Amato, F., et al. Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions. J. Hazard. Mater. 2014;275:31–36.
13. WHO. Health effects of particulate matter. World Health Organization, 2013.
14. Стефаненко, И.В. Research of air flows dynamics at construction works in the condition of urban built-up areas [Электронный ресурс] / И.В. Стефаненко, В.Н. Азаров, К.А. Трохимчук, М.В. Трохимчук // Applied Mechanics and Materials. The 2nd International Conference Material, 2018. – Vol. 875. – P. 183-186. – doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.875.183.
15. Сидельникова, О.П. Использование недорогих датчиков частиц для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами PM_{2.5} / О. П. Сидельникова, В. А. Багров, Ф.Г. Антонов[и др.]// Экономика строительства и природопользования. – 2023. – №4(89). – С.50-59.
16. Азаров, В.Н. О концентрации оксида углерода в воздушной среде придорожных территорий / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, А. А. Добринская [и др.] // Экономика строительства и природопользования. – 2023. – № 4(89). – С. 5-14.
17. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021 : введен 20.03.2023. – <https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosu>
18. Edvardsson K., Magnusson R. Dust generation on gravel roads: A review. Transp. Res. Part D. 2011;16:347–357.
19. Kuhns H., et al. Testing re-entrained aerosol kinetic emissions from roads (TRAKER). Atmos. Environ. 2003;37:4787–4795.
20. Jones D., et al. Dust suppression on unpaved roads: A review of technologies. J. Transp. Eng. 2015;141:04015002.

INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION OF FINE DUST IN THE AIR OF ROADSIDE AREAS OF LOCAL ROADS

¹Azarov V.N., ²Ivanova Y.P., ³Dobrinskaya A.A., ⁴Ivanova O.O., ⁵Solovyova T.V.,
⁶Marinina O.N., ⁷Zimnitskaya A.O.

^{1,2,3,4,5,6,7} Volgograd State Technical University, Volgograd

Annotation. This article presents a study of the factors affecting the concentration and distribution of fine dust in the vicinity of local roads (particles with an aerodynamic diameter of less than 10 µm - PM₁₀, and less than 2.5 µm - PM_{2.5}). Ten key factors affecting the formation, transport, and deposition of fine dust are considered, including meteorological conditions (wind speed and direction, humidity, and temperature), road surface characteristics, traffic flow intensity, and vehicle types. The article examines the factors affecting the concentration of fine dust in the vicinity of local roads.

Keywords: linear city, road transport, local roads, mainline territory, pollutants, fine dust

УДК 626.83

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ПО НАПОРУ ВОДОПОДАЧЕ НА ОРОШАЕМЫЙ УЧАСТОК

Ветрова Н.М.¹, Степаненко К.С.²

¹ Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: хаос.vetrova.03@mail.ru

² Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: kstepanenko_89@mail.ru

Аннотация. Важнейшим элементом в обеспечении работы любой оросительной системы является комплекс сооружений насосной станции. Определение режимов работы НС и наиболее эффективных технологических схем водоподачи на орошаемые участки будет способствовать обеспечению энергосбережения и экологической безопасности. В статье обоснована необходимость, определены основные методы и способы энергосбережения при работе оросительных насосных станций.

Цель. Анализ эффективности применения энергосберегающей технологической схемы водоподачи на орошаемый участок.

Методы. Системный подход; вычислительный эксперимент (метод прямых вычислений); анализ; метод сравнительных оценок.

Результаты. Учитывая задачи энергосбережения при работе оросительных насосных станций, рассмотрена схема дифференцированной по напору водоподачи на орошаемый участок по четырем вариантам. Проведено технико-экономическое сравнение эффективности каждого варианта схемы дифференцированной по напору водоподачи на орошаемый участок. По экономическим показателям определен наиболее эффективный вариант с заменой насосных агрегатов на более мощные с использованием частотных преобразователей, который позволит достичь экономии электроэнергии около 19% по сравнению с базовым вариантом.

Ключевые слова: насосная станция; технологическая схема; дифференцированная водоподача; регулирующий бассейн; энергосбережение

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для всех отраслей хозяйства наиболее актуальной является проблема энергосбережения. Особо остро эта проблема ощущается в сфере водного хозяйства на орошаемых территориях. Важнейшим элементом в обеспечении работы любой оросительной системы является комплекс сооружений насосной станции, поэтому от надежности водоподачи, осуществляемой насосной станцией, зависит работоспособность и эффективность эксплуатации всей оросительной системы. При этом наибольшие затраты электроэнергии происходят при работе оросительных насосных станций малой производительности (НС), осуществляющих подачу воды на орошаемые участки. Определение режимов работы НС и наиболее эффективных технологических схем водоподачи на орошаемые участки будет способствовать обеспечению энергосбережения и экологической безопасности при природопользовании.

Одной из основных задач проведения исследований по оптимизации работы оросительных НС по основным факторам влияния и показателям работы, представленных на рисунке 1, является снижение энергоемкости водоподачи.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Подача воды на орошаемые участки в большинстве случаев выполняется по следующей схеме: из открытого источника (в том числе оросительного канала определенного порядка, включая межхозяйственную и внутрихозяйственную сеть) с помощью насосной станции вода подается в закрытый напорный трубопровод (обычно в одну, реже в две нитки), по которому вода транспортируется непосредственно к орошаемому участку, где происходит разделение потока по распределительным трубопроводам и транспортирование воды к дождевальным машинам. Преобразование воды из состояния водного потока в состояние почвенной влаги происходит в подавляющем большинстве случаев путем распыления воды в дождь с помощью дождевальных аппаратов и дальнейшего всасывания искусственного дождя почвой.

Поэтому общие энергозатраты при орошении состоят из двух основных составляющих:

энергозатраты на транспортирование воды от источника до орошаемого участка, включая распределение воды по участку, и энергозатраты непосредственно на поливном участке на переход воды в состояние почвенной влаги. При дождевании именно на орошаемом участке происходят основные затраты электроэнергии на распыление воды и именно на этом участке технологического процесса водоподдачи и водораспределения необходима и возможна существенная экономия электроэнергии [1].



Рис.1. Блок-схема основных принципов оптимизации работы оросительных НС

Однако при использовании существующих дождевальных машин и сети трубопроводов возможны и необходимы действия по совершенствованию системы «НС – оросительная сеть». При оптимизации этой системы одна из главных задач – соответствие режимов работы.

Существующие нормативные режимы работы НС регламентированы с учетом подбора насосных агрегатов по методике СП 100.13330.2016 [13], где указано, что количество насосных агрегатов зависит от максимальной подачи насосной станции; отношения величины максимальной подачи к величине минимальной подачи; значения максимального расчетного напора.

Возможны два способа регулирования подачи НС на основном (поливном) режиме:

- ступенчатое регулирование: подача изменяется за счет числа работающих насосных агрегатов;
- плавно-ступенчатое регулирование: подача изменяется как за счет числа работающих насосных агрегатов, так и за счет регулирования подачи отдельных насосных агрегатов.

При данной методике положительным является то, что насосы принимаются однотипными и одинаковыми по марке, которая позволяет им резервировать друг друга и довольно просто автоматизировать технологический процесс.

При целом ряде достоинств данная методика имеет ряд существенных недостатков, а именно:

- расчетная подача для подбора насосов равна отношению максимальной подачи к рекомендуемому [13] количеству насосов, расчетный напор равен максимальному, т.е. не учитываются их фактические значения в каждый эксплуатационный период. При этом регулирование производится путем дросселирования, т.е. количественным способом, который не позволяет экономить электроэнергию при работе насоса;

- с увеличением числа параллельно работающих насосов суммарная фактическая подача возрастает непропорционально увеличению количества насосов. Это связано с тем, что с увеличением числа параллельно работающих насосов увеличивается напор каждого из насосов и уменьшается подача каждого из насосов (единичная подача), и, как следствие, уменьшается КПД

каждого насоса [9].

В своих работах Захаров Р.Ю. предложил методику подбора насосов по показателям эксплуатационных режимов [3, 6]. Эксплуатационный режим НС – совокупность основных эксплуатационных показателей работы НС, характеризующих постоянством в течение определенного интервала времени в пределах оросительного сезона. Эксплуатационные режимы зависят от количества и схемы одновременно работающих дождевальных машин и выражаются значениями подачи, равной суммарной производительности одновременно работающих дождевальных машин с учетом КПД сети, и соответствующего этому значению подачи фактического требуемого напора по характеристике сети [3].

Вопросами энергосбережения при работе насосных станций занимались такие ученые как Ю.С. Южумова, Д. В. Николаенко, В. Б. Панов, С. А. Тарасьянц [8], С.С.Елисеев [2]. Состав и расположение гидротехнических сооружений мелиоративных насосных станций рассматривал в своей работе А.Л. Кожанов [7]. Оценку надежности и экологической безопасности анализировал в работах [11, 12] А.И. Пашенцев.

Одним из способов оптимизации работы насосной станции является дифференциация подачи воды от источника к орошаемому участку, данной тематикой занимались Р.Ю. Захаров и Т.В. Зуева, по результатам работы получен Патент на полезную модель «Способ подачи воды в оросительную сеть» [10].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью исследования является анализ эффективности применения энергосберегающей технологической схемы водоподдачи на орошаемый участок. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать схему водоподдачи на орошаемый участок с дифференцированием по напору с учетом энергосбережения;
- определить основные режимы работы НС с учетом подбора насосов и способов регулирования;
- выполнить технико-экономическое сравнение вариантов схемы дифференцированной водоподдачи с учетом существующей нормативной методики водоподдачи [13];
- выбрать оптимальный вариант по критерию минимизации энергозатрат.

Объектом исследования является система водоподдачи на орошаемый участок.

Предметом исследования являются технологическая схема водоподдачи на орошаемый участок с дифференциацией по напору.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Основным способом дифференциации, обеспечивающим существенное снижение энергозатрат является дифференцированная по напору водоподдача.

В этом случае подача воды на орошаемый участок осуществляется дифференцированно при помощи регулирующего бассейна по следующей схеме, представленной на рисунке 2: сначала вода забирается из источника и подается перекачивающей насосной станцией (НС №1) по напорному трубопроводу в регулирующий бассейн, расположенный близки от орошаемого участка, затем подкачивающей насосной станцией (НС №2) подается из регулирующего бассейна на орошаемый участок. При этом меняется технологическая схема работы НС №1, которая переводится из режима подкачивающей в режим перекачивающей. Подбор насосно-силового оборудования и эксплуатация НС №2 будет осуществляться по показателям эксплуатационных режимов, в том числе с учетом дифференциации по подаче.

Данная схема подачи воды на орошаемый участок позволяет:

- уменьшить количество работающих насосов на перекачивающей насосной станции за счет более равномерной работы;
- использовать насосы и оборудование существующих насосных станций с большей эффективностью и большей надежностью за счет резервирования насосами, которые не берут участие в технологическом процессе;
- снизить суммарные эксплуатационные расходы перекачивающих и подкачивающих насосных станций за счет более точного соответствия показателям эксплуатационных режимов, в том числе снижения затрат на потребленную электроэнергию;

- использовать новые технологии регулирования работы насосов, в том числе частотные преобразователи;
- улучшить микроклимат орошаемых территорий, а также территорий, которые прилегают к орошаемым участкам.

Наличие в структуре водоподачи регулирующего бассейна позволит:

- увеличить эффективность и надежность водоподачи за счет накопления резервного объема;
- уменьшить непроизводительные сбросы воды за счет более стабильного режима управления водоподачей;
- уменьшить годовые суммарные эксплуатационные затраты на оросительной системе за счет уменьшения суммарных объемов перекачивания воды и более точного соответствия параметрам эксплуатационных режимов насосных станций, в том числе с учетом использования регулирования работы насосов;

При анализе эффективности рассматриваемой модели было рассмотрено несколько вариантов технологических схем работы НС №1:

1 вариант: изменение режима работы в сторону увеличения подачи и уменьшения количества дней работы без изменения количества и марок насосных агрегатов;

2 вариант: работа насосной станции с использованием частотных преобразователей без изменения количества и марок насосных агрегатов;

3 вариант: замена насосных агрегатов на более мощные, которые обеспечат подачу воды в регулирующей бассейн за меньшее количество дней работы;

4 вариант: замена насосных агрегатов на более мощные с использованием частотных преобразователей.

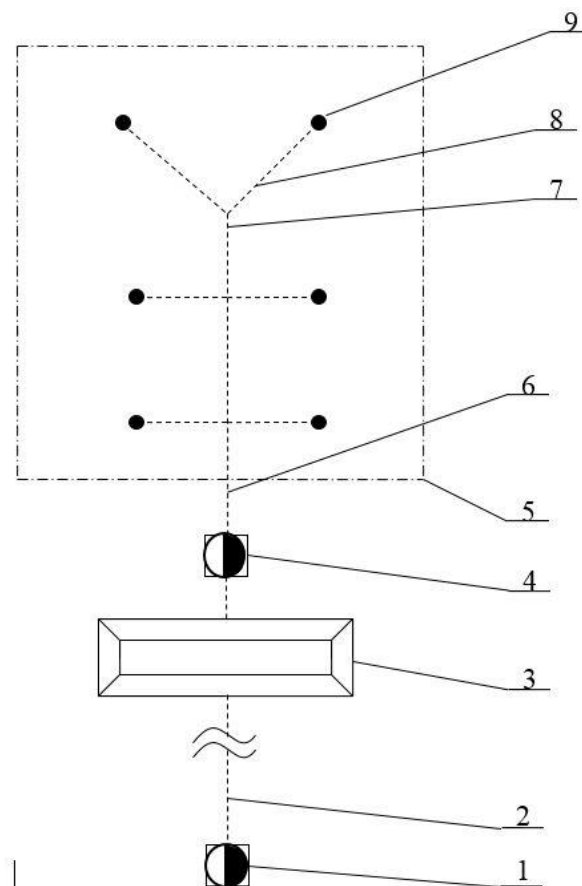


Рис.2. Схема дифференцированной по напору водоподачи насосной станцией на орошаемый участок:
 1 – перекачивающая насосная станция (НС№1); 2 – напорный трубопровод; 3 – регулирующей бассейн;
 4 - подкачивающая насосная станция (НС№2); 5 - граница орошаемого участка; 6 - главный напорный трубопровод; 7 - распределительный трубопровод; 8 - полевой трубопровод; 9 - узел подключения дождевальных машин.

За базовый вариант для сравнения принят существующий режим работы насосной станции,

рассчитанный при подборе и работе насосных агрегатов по методике [13].

При всех вариантах работы НС №1, ее напор зависит от геодезической высоты подъема H_r . Месторасположение регулирующего бассейна и выбор параметров НС №1 и НС №2 осуществляется взаимосвязано.

Режим работы НС №2, которая находится после регулирующего бассейна, и непосредственно подает воду на орошаемый участок, рассчитывается по методике показателей эксплуатационных режимов [3, 4]. Суть методики заключается в том, что для каждого периода работы насосной станции (эксплуатационного режима) подбирается насос, который обеспечивает требуемую подачу и напор. Регулирование работы насосных агрегатов происходит с применением частотных преобразователей.

Комплектация насосных станций, принятая при проведении расчетов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Комплектация насосных станций, принятая при проведении расчетов

Параметры	Базовый вариант	1 вариант			2 вариант			3 вариант			4 вариант		
		НС №1	НС№2		НС №1	НС№2		НС №1	НС№2		НС №1	НС№2	
Марка насоса	Д630-90	Д630-90	Д320-70	Д800-57	Д630-90	Д320-70	Д800-57	Д1250-65	Д320-70	Д800-57	Д1250-65	Д320-70	Д800-57
Количество насосов z, шт.	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1

При определении режима работы НС №1 по 1 варианту (изменение режима работы в сторону увеличения подачи и уменьшения количества дней работы) было проанализировано несколько значений подачи насосной станции в i-й период, значения которой увеличивались с применением коэффициентов от 1.05 до 1.2. При этом происходило уменьшение количества дней работы насосной станции и снижение потребления электроэнергии. Годовое потребление электроэнергии НС №1 в процентах от базового варианта при различных коэффициентах увеличения подачи НС №1 представлены на рисунке 3.

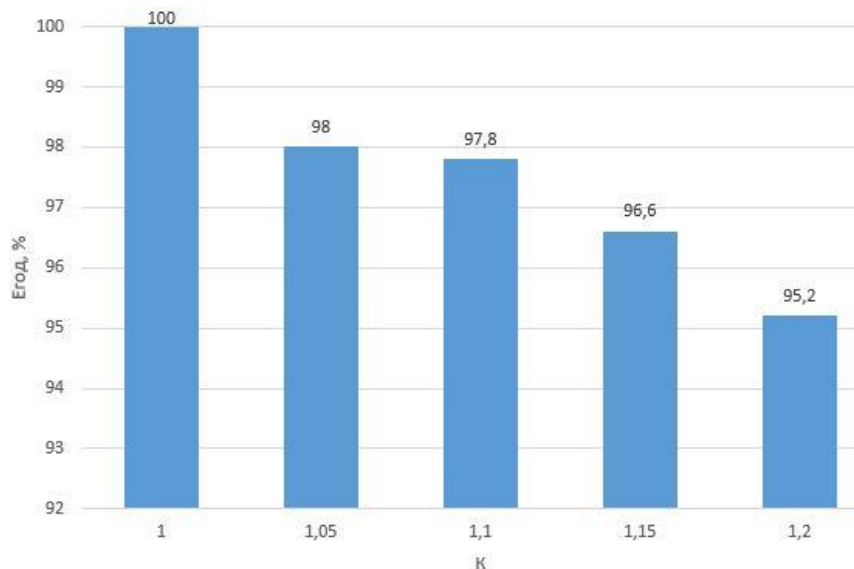


Рис.3. Годовое потребление электроэнергии НС №1 в процентах от базового варианта при различных коэффициентах увеличения подачи НС №1.

При определении режима работы НС №1 по 2 варианту использовались методика расчета работы насосной станции с использованием частотного преобразователя [4].

Особенности подбора насосов по третьему и четвертому вариантам заключается в следующем:

1. Подбор насоса осуществляем из условия, чтобы он мог обеспечить подачу в максимальный период.

2. В периоды, когда требуемая подача насосной станции $Q_{нс}$ меньше минимально допустимой подачи насоса согласно паспортным данным, насос работает с подачей равной минимальной подаче насоса по паспортным данным $Q_{н \min}$.

3. В периоды, когда требуемая подача насосной станции находится в промежутке между $Q_{н \min}$ и $Q_{н \max}$, насос работает с подачей равной подаче насосной станции $Q_{нс}$.

4. В периоды, когда насос работает с подачей $Q_{н \min}$, требуемый объем воды подается за меньшее количество дней и аккумулируется в бассейне.

5. Регулирование работы насоса в четвертом варианте производится с помощью частотных преобразователей.

Для оросительных насосных станций III категории надежности малой и средней производительности, оборудованных центробежными горизонтальными насосами, стоимость годовой потребленной электроэнергии определяется по формуле [9]:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = a \cdot \sum_{i=1}^n N_{ij} \cdot \Delta t_j / (\eta_3 \cdot \eta_c), \text{ руб.}, \quad (1)$$

где a – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

N_{ij} – мощность потребленная i -м насосным агрегатом, кВт, в интервале периода постоянной работы Δt_j , ч;

$\eta_3 \cdot \eta_c$ – произведение КПД электродвигателя и подводящих электрических сетей.

Аналитически количественно величина экономии затрат на электроэнергию за год для насосной станции в целом с учетом загрузки насосов может определяться по формуле [9]:

$$\Delta \mathcal{E} = a \cdot \sum_{j=1}^n \Delta N_{НСj} \cdot \Delta t_j / (\eta_3 \cdot \eta_c), \text{ руб.}, \quad (2)$$

где экономия затрат мощности насосной станции $N_{НСj}$ в j -й эксплуатационный период (режим):

$$\Delta N_{НСj} = z_j \cdot 981 \cdot Q_1 \cdot \Delta H_j / \eta_1, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где z_j - количество работающих насосов в j -й эксплуатационный режим, шт.;

Q_1 - единичная подача насосов по классическому методу подбора, которые работают в j -й эксплуатационный режим, м³/с; при одинаковых насосах $Q_1 = Q_{zj} / z_j$;

Q_{zj} - подача j -го эксплуатационного режима;

η_1 - КПД соответствующий единичной подаче, для горизонтальных центробежных насосов (в т.ч. типа Д) принимается $\eta_{1 \text{ ср}} \approx 0,75$;

ΔH_j - разность в напорах насоса: фактического и необходимого по характеристике напорного трубопровода, м; $\Delta H_j = \Delta h_{zj}$, где Δh_{zj} - величина прикрытия задвижки в j -и режим, м.

Дополнительный годовой экономический эффект $\Delta \mathcal{E}_{\text{доп}}$, который возникает при использовании частотных преобразователей вследствие экономии затрат на электроэнергию, определяется по формуле [5]:

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = N_{\text{эл}} \cdot T_{100} \cdot a - \sum (N_{\text{эл}} \cdot V_{ni}^3 \cdot T_{ni} \cdot a), \text{ руб.}, \quad (4)$$

где $N_{\text{эл}}$ – расчетная мощность электродвигателя, кВт;

T_{100} – расчетное время работы на исходной (100%) частоте, ч;

a – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/(кВт·ч);

V_{ni} - i -я частота вращения в долях от исходной;

T_{ni} - время работы с частотой V_{ni} , ч.

Суммарное годовое потребление НС №1 и №2 в процентах от базового варианта представлено на рисунке 4.

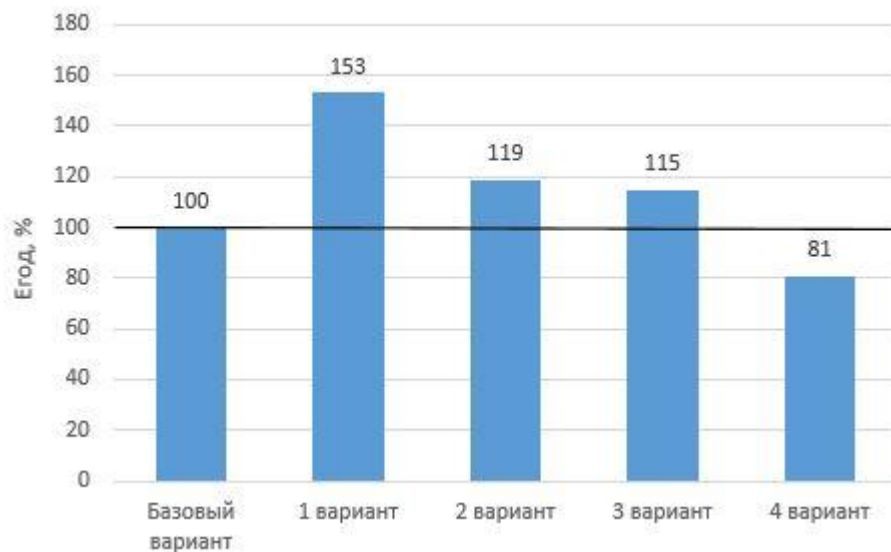


Рис.4. Суммарное годовое потребление электроэнергии НС №1 и НС №2 в процентах от базового варианта.

При сравнении затрат электроэнергии по указанным четырем вариантам с базовым (рис. 4) можно сделать вывод, что наиболее экономически выгодным будет четвертый вариант. А именно, при замене на НС №1 насосов более производительными, наличии регулирующего бассейна, работе НС №2 по показателям эксплуатационных режимов, и регулировании обеих насосных станций с использованием частотных преобразователей, снижение годовых суммарных затрат электроэнергии составит по сравнению с базовым вариантом 18,54%. Экономия потребляемого энергоресурса обеспечивается тем, что НС №1 будет работать меньшее количество дней, перекачивая необходимый за период объем воды и аккумулируя его в регулирующем бассейне, а режимы работы НС №2 являются более экономичными за счет использования частотных преобразователей.

ВЫВОДЫ

1. Учитывая задачи энергосбережения при работе оросительных насосных станций, рассмотрена схема дифференцированной по напору водоподачи на орошаемый участок по четырем вариантам (табл. 1).

2. Проведено технико-экономическое сравнение эффективности каждого варианта схемы дифференцированной по напору водоподачи на орошаемый участок (рис. 4).

3. По экономическим показателям определен наиболее эффективный вариант – вариант 4 с заменой насосных агрегатов на более мощные с использованием частотных преобразователей, который позволит достичь экономии электроэнергии около 19% по сравнению с базовым вариантом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закусилов, Н.А. Актуальные вопросы повышения энергоэффективности оросительных систем: коллективная монография / Н. А. Закусилов, Р. Ю. Захаров, Т. В. Зуева, Д. В. Лунёв. — Симферополь: СОНАТ, 2009. — 128 с. (ISBN 978-966-2178-35-7)

2. Елисеев, С. С. Сравнение энергозатрат этапов водоподачи и водораспределения процесса орошения / С. С. Елисеев, А. В. Ключиков, Ю. Н. Гречук // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 87-91. – EDN LSCZGT.

3. Захаров, Р. Ю. Экономическая эффективность выбора количества и марок насосных агрегатов по показателям эксплуатационных режимов оросительных насосных станций / Р. Ю. Захаров // Строительство и техногенная безопасность. – 2004. – Вып.9. – С.143-145.

4. Захаров, Р.Ю. Методика подбора насосов для оросительных насосных станций по показателям эксплуатационных режимов / Р.Ю. Захаров // Труды междунар. научно-техн. к онфер. «СИНТ’ОЗ», ФГУП «Турбонасос», Воронеж, 2003. – С.113-115.
5. Захаров, Р.Ю. Исследование экономической целесообразности применения частотных преобразователей для регулирования работы насосных агрегатов подкачивающих оросительных насосных станций / Р.Ю. Захаров, Т.В. Зуева // Строительство и техногенная безопасность. – 2006. – №15-16. – С.154-155.
6. Захаров, Р.Ю. Обеспечение экологической безопасности и энергосбережение при работе подкачивающих оросительных насосных станций (на примере водохозяйственного комплекса Автономной республики Крым) [Текст] автореф. дис. канд. тех. наук / Р.Ю. Захаров. – Симферополь: НАПКС, 2005. – 12 с.
7. Кожанов, А. Л. Состав и расположение гидротехнических сооружений мелиоративных насосных станций / А. Л. Кожанов, А. А. Кириленко // Экология и водное хозяйство. – 2023. – Т. 5, № 2. – DOI 10.31774/2658-7890-2023-5-2-40-53. – EDN RGBGYQ.
8. Уржумова, Ю.С. Методы уменьшения потребляемой энергии мелиоративными насосными станциями / Ю. С. Уржумова, Д. В. Николаенко, В. Б. Панов, С. А. Тарасьянц // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3(67). – С. 566–574. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-64.
9. Насосы и насосные станции / под ред.В.Ф.Чебаевского. М.: Агропромиздат, 1989. – 416 с.
10. Пат. № 32597 Україна, МПК А01G 25/00 (2006). Спосіб подачі води в зрошувальну мережу / Р. Ю. Захаров, Т. В. Зуєва ; Національна академія природоохоронного та курортного будівництва. — № u200714633 ; Заявл. 24.12.2007 ; Опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
11. Пашенцев, А. И. Совершенствование методического подхода к оценке экологической безопасности сложных линейных систем водоснабжения / А. И. Пашенцев, А. А. Гармидер, И. В. Данилович // Экономика строительства и природопользования. – 2024. – № 1(90). – С. 26-34. – EDN BSNFBM.
12. Пашенцев, А.И. Оценка и обеспечение экологической надежности закрытых оросительных систем [Текст] автореф. дис. канд. тех., наук / А.И. Пашенцев. – Симферополь: КИПКС, 1997. – 16 с.
13. СП 100.13330.2016 «Мелиоративные системы и сооружения»: утв. Министерством строительства и ЖКХ 16.12.2016. ФГБНУ «РосНИИПМ», Москва, 2016.

JUSTIFICATION OF ENERGY SAVING DURING DIFFERENTIATED WATER SUPPLY TO THE IRRIGATED AREA

¹Vetrova N.M., ²Stepanenko K.S.

^{1,2}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The most important element in ensuring the operation of any irrigation system is the complex of pumping station facilities. Determining the operating modes of the pumping station and the most effective technological schemes for supplying water to irrigated areas will contribute to energy conservation and environmental safety. The article substantiates the need and identifies the main methods and approaches for energy conservation in irrigation pumping stations.

Purpose. Analysis of the efficiency of using an energy-saving technological scheme for water supply to an irrigated area.

Methods. system approach; computational experiment (direct calculation method); analysis; comparative evaluation method.

Results. Taking into account the tasks of energy saving during the operation of irrigation pumping stations, a scheme of differentiated water supply to the irrigated area by pressure was considered in four variants. A technical and economic comparison of the efficiency of each variant of the scheme of differentiated water supply to the irrigated area was carried out. Based on economic indicators, the most efficient variant was determined, which involves replacing the pumping units with more powerful ones using frequency inverters, resulting in energy savings of approximately 19% compared to the base variant.

Keywords: pumping station; technological scheme; differentiated water supply; regulating pool; energy saving

Раздел 2. Проблемы организации строительства

УДК 692.43 + 69.003.12

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ПЛОСКОЙ НЕЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛИ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. СИМФЕРОПОЛЕ

Шаленный В.Т.¹, Смазнов Д.А.²

^{1,2} Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, институт «Академия строительства и архитектуры» 295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: ¹v_shalennyj@mail.ru, ²faust_229@mail.ru

Аннотация: В данной статье представлен сравнительный анализ возможных вариантов технологии капитального ремонта плоской кровли многоквартирного жилого дома в городе Симферополе. Рассматриваются три основных типа рулонных материалов: битумные, битумно-полимерные и полимерные. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Битумные материалы являются наиболее традиционными и дешёвыми, однако их долговечность может быть ограничена. Битумно-полимерные материалы представляют собой компромисс между стоимостью и качеством, обеспечивая более высокую устойчивость к внешним воздействиям. Полимерные материалы — наиболее современные и долговечные, но их стоимость может быть выше.

Результаты: На основе экономико-математического моделирования был выбран наиболее рациональный вариант с учётом стоимости и долговечности многослойной конструкции кровли. Выбор рационального варианта капитального ремонта плоской кровли позволяет обеспечить надёжность и долговечность кровельной конструкции, а также снизить затраты на её обслуживание и ремонт в будущем.

Ключевые слова: капитальный ремонт, плоская кровля, кровельные материалы, рулонные материалы, экономико-математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития городской инфраструктуры особую актуальность приобретает проблема капитального ремонта плоских кровель многоквартирных домов. Острота вопроса обусловлена значительным количеством зданий советской и постсоветской постройки, где преобладают неэксплуатируемые кровли с традиционным рулонным битумным покрытием [11].

Инженерно-техническая задача по выбору рациональных материалов для ремонта и устройства плоских кровель становится одним из ключевых аспектов в строительной отрасли [10]. При разработке проектных решений необходимо учитывать множество факторов: от характеристик конкретного объекта до современных требований к энергоэффективности и долговечности конструкций [13-15].

Комплексный подход к выбору строительных материалов актуален как для нового строительства, так и для объектов, находящихся в эксплуатации [16]. Это обусловлено необходимостью обеспечения надёжности, долговечности и экономической эффективности кровельных конструкций в течение всего жизненного цикла здания.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА, ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс капитального ремонта неэксплуатируемой плоской кровли многоквартирного жилого дома, включает последовательное выполнение технологических операций, перечисляемых далее. Общая площадь кровельного покрытия многоэтажного жилого дома, расположенного в г. Симферополе, включая загиб на парапеты, составляет 2003 м² [10].

Первоочередной задачей является полный демонтаж старого рубероидного покрытия. На объекте производится тщательное удаление изношенного материала, что позволяет детально оценить состояние основания стяжки и подготовить поверхность для последующих работ.

После завершения демонтажных работ осуществляется устройство нового слоя стяжки. На площади 1807 м² формируется новый слой стяжки, который будет новым основанием для нового кровельного покрытия. При выполнении стяжки учитываются все технологические требования, включая необходимый уклон для организации водоотвода и качественное примыкание к парапетам.

Завершающим этапом является устройство нового кровельного покрытия, выбор которого требует особого внимания. В рамках исследования будут рассмотрены три основных типа

современных рулонных материалов, для устройства кровельного покрытия: битумные, битумно-полимерные и полимерные.

Битумные рулонные материалы – кровельные и гидроизоляционные продукты в рулонах на основе битума. Применяются для плоских и скатных крыш, а также гидроизоляции фундаментов и подвалов. Укладываются с газовой горелкой или без неё [9; 17].

Битумно-полимерные рулонные материалы — это современный тип кровельных и гидроизоляционных покрытий, схожий с битумными. Основное отличие заключается в добавлении полимерных компонентов, которые существенно повышают эластичность, теплостойкость и долговечность материала по сравнению с традиционным битумным покрытием. Этот материал, как и битумный, может быть уложен с использованием газовой горелки или без неё [9; 12; 17].

Полимерные рулонные материалы – это современный класс гидроизоляционных и кровельных материалов, изготовленных на основе полимерных мембран. В отличие от битумных материалов, в которых основным компонентом является битум, в полимерных материалах используются только синтетические полимеры [17].

Ранее указанные рулонные материалы имеют свои как преимущества, так и недостатки данных материалов (табл. 1).

Таблица 1. Сводка преимуществ и недостатков известных рулонных кровельных материалов

Кровельные материалы	Битумные материалы	Битумно-полимерные материалы	Полимерные материалы
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> – Низкая стоимость; – Простота монтажа; 	<ul style="list-style-type: none"> – Улучшенная эластичность и гибкость; – Повышенная теплостойкость; – Большая долговечность, чем у битумных; – Широкий выбор марок и характеристик; 	<ul style="list-style-type: none"> – Исключительная долговечность (до 50+ лет); – Высокая прочность и эластичность; – Устойчивость к ультрафиолету и химическим воздействиям (в зависимости от типа);
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> – Низкая долговечность; – Низкая эластичность; – Ограниченная теплостойкость; – Чувствительность к перепадам температур; – Подверженность гниению; 	<ul style="list-style-type: none"> – Более высокая стоимость, чем у битумных материалов; – Требуется определенных навыков для монтажа; 	<ul style="list-style-type: none"> – Самая высокая стоимость; – Требуется квалифицированного монтажа и специального оборудования; – Необходимость выбора материала в зависимости от климатических условий и специфики объекта;

Проблема сравнения различных вариантов проектных решений для многослойных конструкций плоских кровель активно обсуждалась в научной среде. В частности, этой темы касались профессор Шаленный В.Т. [1-2], доцент Акимов С.Ф. [3-4], профессор Король Е.А. [5] и профессор Цопа Н.В. [6], а также и другие исследователи. Однако некоторые научные работы, посвященные сравнению кровельных материалов и проектных решений, имеют существенный недостаток: результаты этих исследований не всегда представлены в виде единого обобщающего показателя.

Для решения этой проблемы целесообразно разработать и апробировать методику, которая позволит получать однозначные окончательные выводы на основе сравнительного комплексного анализа. В этом направлении уже были достигнуты определенные успехи. Например, профессорами Шеиной С.Г., и Цопой Н.В. [6] а также профессором Егоровым А.Н. [7] были предложены методики сравнения, основанные на экономико-математическом моделировании.

Целью настоящего исследования является выбор рационального варианта капитального ремонта плоской кровли, на основе использования методологии оценки и сравнения технологичности, возможных конструктивно-технологических решений. Методологическая база исследования опирается на экономико-математическое моделирование, предложенного профессорами Шеиной С.Г., и Цопой Н.В. [6], и профессором Егоровым А.Н. [7]

Для проведения данного исследования, сравнительный анализ будет проводиться по следующим четырем критериям: сметная стоимость, средства на оплату труда, нормативная трудоёмкость и срок эксплуатации.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ С РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИХ АНАЛИЗОМ

Путем составления локальных сметных расчетов (сметная стоимость, средства на оплату труда и нормативная трудоёмкость), и изучения технических характеристик о сроке эксплуатации (службы) материала [18-20], были определены исходные значения, а также были подобраны ранее указанные типы строительных материалов и сметные расценки к ним (табл.2).

Таблица 2. Расценки и ресурсы кровельных материалов принимавших участие в вычислительном эксперименте

п/п	Расценка	Ресурс (материал)	Сметная стоимость (тыс. руб.)	Оплата труда (тыс. руб.)	Трудоёмкость (чел.- час)	Срок эксплуатации (лет)
Вариант с битумным материалом						
1	ФЕР 46-04-008-01 (Разборка покрытий кровель: из рулонных материалов)	демонтированный рубероид	2172,91	555,49	1130,8	5 [18]
2	ФЕР 12-01-017-01 (Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм)	ФССЦм- 04.3.02.13-0354 (Смеси сухие строительные напольные для устройства стяжек, цементно-песчаные, В7,5)				
3	ФЕР-12-01-002-08 (Устройство кровель плоских из наплавливаемых материалов: в три слоя)	ФССЦм-12.1.02.06-0022 (Рубероид кровельный РКП-350) – три слоя				
Вариант с битумно-полимерным материалом						
4	ФЕР 46-04-008-01 (Разборка покрытий кровель: из рулонных материалов)	демонтированный рубероид	2556,14	582,132	1181	15 [19]
5	ФЕР 12-01-017-01 (Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм)	ФССЦм- 04.3.02.13-0354 (Смеси сухие строительные напольные для устройства стяжек, цементно-песчаные, В7,5)				
6	ФЕР-12-01-002-09 (Устройство кровель плоских из наплавливаемых материалов: в два слоя)	ФССЦм-12.1.02.05-0015 (Биполь: ХПП) – два нижних слоя				
7	ФЕР-12-01-002-10 (Устройство кровель плоских из наплавливаемых материалов: в один слой)	ФССЦм-12.1.02.05-0014 (Биполь: ХКП) – один верхний слой				
Вариант с полимерным материалом						
8	ФЕР 46-04-008-01 (Разборка покрытий кровель: из рулонных материалов)	демонтированный рубероид	3771,53	773,577	1580,8	30 [20]

Продолжение таблицы 2.

п/п	Расценка	Ресурс (материал)	Сметная стоимость (тыс. руб.)	Оплата труда (тыс. руб.)	Трудоёмкость (чел.- час)	Срок эксплуатации (лет)
9	ФЕР 12-01-017-01 (Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм)	ФССЦм- 04.3.02.13-0354 (Смеси сухие строительные напольные для устройства стяжек, цементно-песчаные, В7,5)				
10	ФЕР-12-01-002-14 (Устройство кровель плоских из рулонных полимерных кровельных материалов на мастике с подготовкой поверхности)	ФССЦм-12.1.02.10-0111 (ПВХ мембрана полимерная КТmembrane-V RP Г1, 1,2мм без тиснения) – один слой				

Имея представленную исходную информацию, для определения наиболее подходящего варианта для проведения капитального ремонта плоской кровли, произведены расчёты ТЭП. Эти расчёты включают в себя определенную сметную стоимость, средства на оплату труда, нормативную трудоёмкость и прогнозируемый срок службы покрытия. На основании полученных данных построены графики (рис. 1-4).

На основании данных, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что самым дорогим вариантом для ремонта покрытия кровли является вариант с ПВХ-мембраной. Его сметная стоимость составляет 3 771,53 тыс. рублей. В то же время самым дешёвым вариантом является покрытие из рубероида РКП-350, стоимость наклейки которого составляет 2172,91 тыс. рублей. А разница между сметной стоимостью ремонта по самому дорогому и самому дешёвому варианту составляет почти 54%.

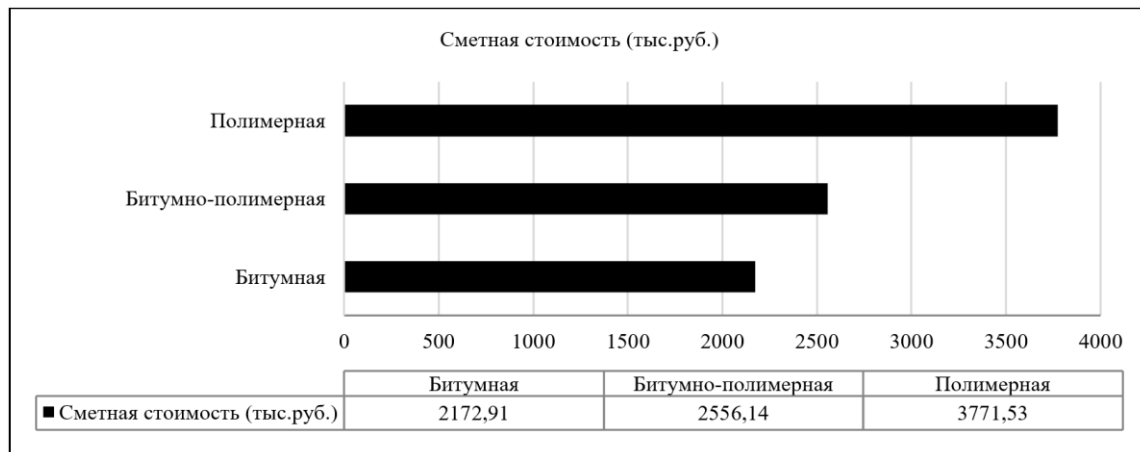


Рис. 1. Диаграмма результатов расчетов сметной стоимости (тыс. руб.)

Анализируя данные, представленные на (рис. 2), можно заключить, что наибольшая часть бюджета на оплату труда направляется на реализацию варианта с использованием ПВХ-мембраны. Затраты на оплату труда для этого варианта составляют 773,577 тыс. руб. В сравнении с этим, самый экономичный вариант, предполагающий использование покрытия из рубероида РКП-350, требует наименьших расходов на оплату труда — 555,49 тыс. руб. Разница в оплате труда между самым дорогим и самым бюджетным вариантом ремонта составляет примерно 33%.

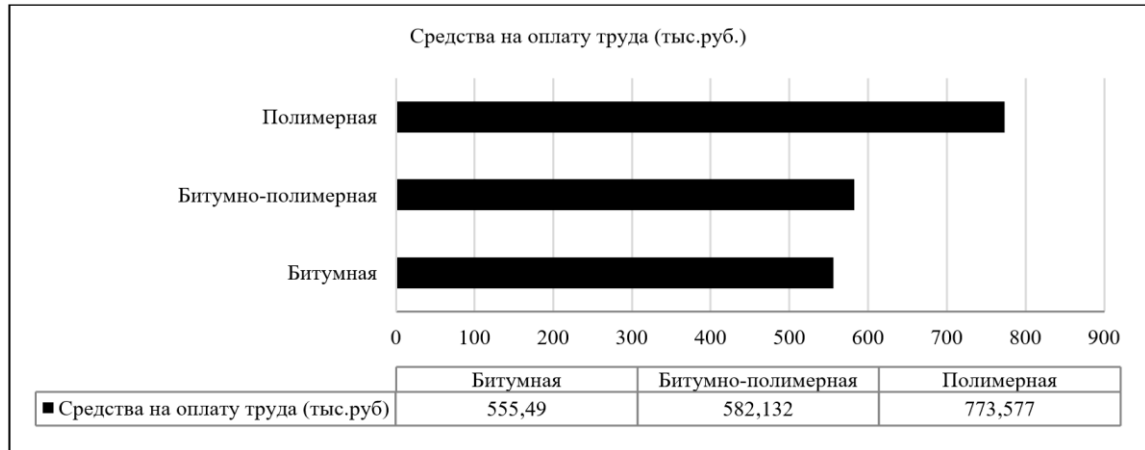


Рис. 2. Результат оценки затрат на оплату труда (тыс. руб.)

На рисунке 3 представлена трудоёмкость устройства по вариантам ремонта плоской кровли объекта. Отсюда видно, что самым малозатратным по трудоёмкости является вариант с рубероидом РКП-350, требующий 1130,8 чел.-час. А наиболее трудоёмким является вариант с использованием ПВХ-мембраны, на который уходит 1580,8 чел.-час. Разница в трудоёмкости между этими двумя вариантами составляет около 33%.

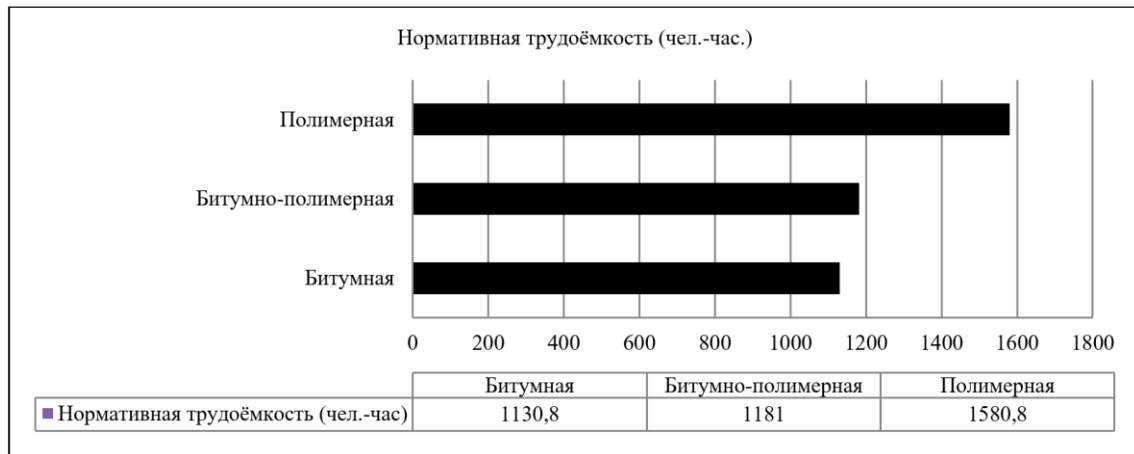


Рис. 3. Сравнение нормативной трудоёмкости ремонтных работ на кровле (чел.-час)

Среди анализируемых вариантов, наибольший ожидаемый срок службы демонстрирует вариант с ПВХ-мембраной. Согласно заявленным характеристикам производителя, срок эксплуатации материала КТmembrane VRP составляет приблизительно тридцать лет. В то же время, наименьший срок службы отмечается у варианта с рубероида РКП-350 (рис.4).

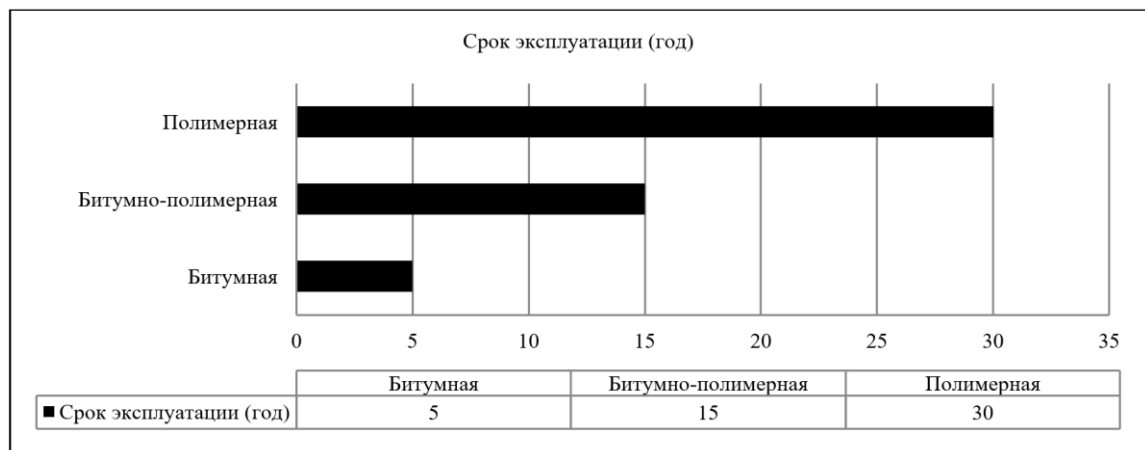


Рис. 4. Ожидаемый срок эксплуатации после осуществления ремонта (год.)

Результаты проектно-сметных расчетов сведем в таблице 3.

Таблица 3. Сводка полученных значений частных критериев эффективности

№	Наименование материала покрытия	Сметная стоимость (тыс. руб.)	Средства на оплату труда (тыс. руб.)	Нормативная трудоёмкость (чел.-час.)	Срок эксплуатации (год)
1	Битумный материал	2172.91	555.49	1130.8	5
2	Битумно-полимерный материал	2556.14	582.132	1181	15
3	Полимерный материал	3771.53	773.577	1580.8	30
Условно, по аналогии с [6], принятый вес критерия		0.25	0.25	0.25	0.25
Максимальное значение		3771.53	773.577	1580.8	30

Экономико-математическое моделирование сводного показателя эффективности выполнялся по формуле [6-8]:

$$F(a_{ij}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j * a_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \quad (2)$$

где a_{ij} - значение 1-4 частного критерия;

λ_j - вес 1-4 частного критерия.

Как общеизвестно, нужно минимизировать следующие параметры: сметную стоимость, средства на оплату труда и нормативную трудоёмкость, а критерий срока эксплуатации следует максимизировать.

Выполняем процедуру нормализации критериев (табл. 4).

Таблица 4. Нормализация изученных критериев эффективности технологии ремонта кровли

п/п	Наименование разновидности	Сметная стоимость (тыс. руб.)	Средства на оплату труда (тыс. руб.)	Нормативная трудоёмкость (чел.-час.)	Срок эксплуатации (год)
1	Битумный материал	$1-(2172.91/3771.53) = 0.42$	$1-(555.49/773.577) = 0.28$	$1-(1130.8/1580.8) = 0.28$	$5/30 = 0.17$
2	Битумно-полимерный материал	$1-(2556.14/3771.53) = 0.32$	$1-(582.132/773.577) = 0.25$	$1-(1181/1580.8) = 0.25$	$15/30 = 0.50$
3	Полимерный материал	$1-(3771.53/3771.53) = 0$	$1-(773.577/773.577) = 0$	$1-(1580.8/1580.8) = 0$	$30/30 = 1$
Вес критерия		0.25	0.25	0.25	0.25
Максимальное значение		3771.53	773.577	1580.8	30

Далее выполняем расчеты по формулам 1 и 2, и результаты сведем в рисунке 5:



Рис. 5. Диаграмма итоговых значений интегрального показателя эффективности сравниваемых технологических решений

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЫ

Применяя обоснованную и апробированную другими исследователями методику, мы приходим к выводу, что предпочтительным вариантом устройства покрытия плоской кровли является вариант с использованием битумно-полимерных материалов, таких как «Биполь ХПП» и «Биполь ХКП». Это обусловлено тем, что данный тип материала демонстрирует лучшие показатели при использовании методики экономико-математического моделирования при равных весовых коэффициентах.

Следовательно, методика экономико-математического моделирования представляет собой гибкий инструмент для выбора более рационального варианта капитального ремонта плоской кровли. Она позволяет адаптировать количество рассматриваемых вариантов и весовые коэффициенты в зависимости от целей исследования, что может быть представлено как направление дальнейших исследований. При этом следует рассмотреть и варианты с эксплуатируемой кровлей, включая «зелёную» или инверсионную.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаленный, В. Т. Повышение эффективности устройства мягких кровельных покрытий здания Севастопольской больницы скорой помощи / В. Т. Шаленный, С. Ф. Акимов, Э. Ш. Акимова, М. В. Никульшин // Экономика строительства и природопользования. – 2023. – № 2(87). – С. 66-78. – EDN IZWOUC.
2. Шаленный, В. Т. Оценка технико-экономической эффективности устройства мягкого кровельного покрытия на плоской крыше / В. Т. Шаленный, С. Ф. Акимов, М. В. Никульшин // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее : Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума, посвященного 60-летию Академии строительства и архитектуры, Симферополь, 18–20 ноября 2020 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2020. – С. 99-103. – EDN OVZCXR.
3. Акимов, С. Ф. Техничко-экономическое сравнение различных вариантов "зелёных" кровель с другими видами эксплуатируемых кровель для гражданского строительства / С. Ф. Акимов, В. А. Косенко // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее: сборник трудов участников VIII международного студенческого строительного форума, Симферополь, 28–30 ноября 2024 года. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2025. – С. 180-184. – EDN BRRAWP.
4. Акимов, С. Ф. Повышение эффективности устройства мягких кровельных покрытий на плоских крышах / С. Ф. Акимов, А. Б. Эльмурзаев // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее : сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума – 2022, Симферополь, 17–19 ноября 2022 года. – Симферополь: Общество с

ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. – С. 148-153. – EDN VUTGHH.

5. Король, Е. А. Сравнительная технологичность устройства кровельных покрытий с системами озеленения / Е. А. Король, Н. С. Шушунова // Строительство: наука и образование. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 4. – DOI 10.22227/2305-5502.2020.1.4. – EDN SMSUCM.

6. Шеина, С. Г. Моделирование выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли / С. Г. Шеина, Н. В. Цопа // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 316-329. – EDN WNJXHU.

7. Егоров, А. Н. Вариантное конструктивно-технологическое проектирование инверсионной кровли на основе экспертного анализа / А. Н. Егоров, А. А. Тугушев // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 1(97). – С. 483-494. – EDN ZMGDPJ.

8. Дубская, А. С. Применение принципов системного подхода к обоснованию эффективности инвестиционных проектов / А. С. Дубская // Modern Economy Success. – 2024. – № 1. – С. 91-96. – EDN WPCZFL.

9. Панасюк М. В. Кровельные материалы. Практическое руководство. Характеристики и технологии монтажа новых и новейших гидроизоляционных, теплоизоляционных, пароизоляционных материалов / М. В. Панасюк. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 448 с.

10. Доброгорский, Е. А. Выбор метода ремонта плоских кровель / Е. А. Доброгорский, А. А. Козельская // Строительство. Архитектура. Дизайн : материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Курск, 24 апреля 2020 года / Курский государственный университет. – Курск: Курский государственный университет, 2020. – С. 62-65. – EDN BRNLSM.

11. Петров, А. В. Совершенствование технологии капитального ремонта плоских железобетонных кровель крупнопанельных зданий серии 135 в условиях Иркутского региона / А. В. Петров, В. Н. Гуляева // Universum: технические науки. – 2018. – № 6(51). – С. 32-37. – EDN XRSGNN.

12. Круглов, О. И. Выбор битумно-полимерного покрытия кровли гражданских зданий / О. И. Круглов, Н. С. Воловник, В. А. Казаков // Мировые научные исследования современности: возможности и перспективы развития : материалы XVI международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 31 марта 2022 года. Том Часть 1. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Ставропольское издательство "Параграф", 2022. – С. 182-188. – EDN YQFYSQ.

13. Маилян, В. Д. Выбор технических и организационно-технологических решений ремонтно-строительного производства в сфере ЖКХ и городской среды: монография / В. Д. Маилян, И. Ю. Зильберова, И. В. Новоселова. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – 144 с.

14. Зильберова, И. Ю. Теоретические основы принятия проектных решений при реализации программ ремонтно-строительного производства в сфере ЖКХ и городской среды / И. Ю. Зильберова, В. Д. Маилян // Перекресток идей и гипотез : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 18 ноября 2019 года. – Чебоксары: Негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования "Экспертно-методический центр", 2019. – С. 11-19. – EDN GORXKG.

15. Зильберова, И. Ю. Методические основы построения системы рационального планирования городских программ в сфере ЖКХ и городской среды / И. Ю. Зильберова, В. Д. Маилян // Инновации в науке: пути развития : Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 31 октября 2019 года. – Чебоксары: Негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования "Экспертно-методический центр", 2019. – С. 14-21. – EDN RJLXPU.

16. Тускаева, З. Р. Сравнительный анализ рулонных кровельных материалов / З. Р. Тускаева, М. В. Богов // Приоритетные научные направления : от теории к практике : сборник материалов XXXIX Международной научно-практической конференции , Новосибирск, 30 мая 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2017. – С. 11-14. – EDN YRFTFT.

17. Рыбакова, Г. С. Современные кровельные материалы для плоских крыш / Г. С. Рыбакова, А. С. Першина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн : сборник статей / под ред. М.И. Бальзаникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный архитектурно-строительный университет", 2015. – С. 137-139. – EDN UHAYOJ.

18. Материал кровельный Рубероид РКП 350 О2 46 рул // Технониколь. Торговая сеть URL: <https://nizhniy-tagil.tstn.ru/product/material-krovelnyy-tekhnonikol-bipol-khkp-slanets-seryu/> (дата обращения: 17.09.2025).

19. Материал кровельный Биполь ХКП-4, верхний слой, стеклохолст, 10 м² // Технониколь. Торговая сеть URL: <https://nizhniy-tagil.tstn.ru/product/material-krovelnyy-tekhnonikol-bipol-khkp-slanets-seryu/> (дата обращения: 17.09.2025).

20. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ № 015 // Материал рулонный кровельный и гидроизоляционный полимерный URL: <https://hidroizolyaciya-saxalin.rf/downloads/ТО%20Материал%20рулонный%20кровельный%20и%20гидроизоляционный.pdf?ysclid=mfoenvj98m25214563> (дата обращения: 10.09.2025).

Работа выполняется по программе «Приоритет-2030» на тему «Интенсификация ресурсосберегающего и безопасного производства и модернизации строительных конструкций на определяющих этапах жизненного цикла гражданских объектов Крыма», шифр Н/2025/П.4.

CHOOSING A RATIONAL SOLUTION FOR THE OVERHAUL OF THE FLAT UNUSED ROOF OF AN APARTMENT BUILDING IN SIMFEROPOL

¹Shalenny V.T., ²Smaznov D.A.

^{1,2}Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture", Simferopol, Republic of Crimea

Annotation. This article presents a comparative analysis of possible technology options for the overhaul of the flat roof of an apartment building in the city of Simferopol. Three main types of rolled materials are considered: bitumen, bitumen-polymer and polymer. Each of them has its own characteristics, advantages and disadvantages. Bitumen materials are the most traditional and cheapest, but their durability may be limited. Bitumen-polymer materials represent a compromise between cost and quality, providing higher resistance to external influences. Polymer materials are the most modern and durable, but their cost may be higher. Based on economic and mathematical modeling, the most rational option was chosen, taking into account the cost and durability of the multilayer roof structure. Choosing a rational option for the overhaul of a flat roof allows you to ensure the reliability and durability of the roof structure, as well as reduce the cost of its maintenance and repair in the future.

Key words: major repairs, flat roof, roofing materials, rolled materials, economic and mathematical modeling.

УДК 693.98

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ ДОМОВ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Жиленко О.Б.¹, Маринич Д.А.²

^{1,2} Институт «Академия строительства и архитектуры» (структурное подразделение), ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

Аннотация. Темпы строительства модульных домов на территории Республики Крым растут с каждым годом. Расширяется область их применения. Появляются типовые проекты. В связи с климатическими и инженерно-геологическими особенностями региона, требуется разработка специальных конструктивных решений, позволяющих обеспечить безопасность эксплуатации и надёжность конструкций, а так же повысить комфорт и создать благоприятный микроклимат внутри зданий.

Цель: изучить инженерно-технологические приёмы и материалы для строительства модульных домов. Предложить оптимальные решения по обеспечению долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым.

Методы: анализ природно-геологических условий, моделирование нагрузок с учётом эластичных демпферов.

Результат: в статье изучены инженерно-технические решения и материалы для строительства модульных домов. Выявлены основные проблемы при их эксплуатации на территории Республики Крым. В связи с особыми климатическими и инженерно-геологическими условиями региона, разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить безопасность эксплуатации и надёжность конструкций.

Новизна: предложены оптимальные решения по обеспечения долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым.

Ключевые слова: Республика Крым, модульный дом, пиломатериалы, SIP-панели, природно-климатические условия.

ВВЕДЕНИЕ

Модульное домостроение развивается высокими темпами. С учётом природно-климатических особенностей Республики Крым, модульное строительство требует разработки инженерно-технических решений, позволяющих снизить негативные последствия для конструкций. В статье описаны методы и материалы, повышающие энергоэффективность и прочность модульных домов. Определена оптимальная толщина SIP-панелей, изучены вопросы применения термодревесины, гибких амортизаторов и антикоррозийных покрытий.

В статье выполнено комплексное исследование: изучен климат и геологические особенности региона, выполнено моделирование с учётом сейсмических нагрузок, климатических и инженерно-геологических особенностей региона.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В монографиях Барабаша М.Б. и Логвиновой К.Т. (1982) [2] и в исследовании Присенко В.Г. с соавторами (2014) [3, 10] подробно рассмотрены климато-геологические особенности Крыма, включая экстремальные температурные колебания, карстовые просадки и прибрежную агрессивность среды. Технические характеристики SIP-панелей толщиной 124–224 мм и термомодифицированной древесины освещены в работах Е.И. Исаевой [4] и на порталах «Хороший Дом» [5], A&D MODULE [6] и Scandyhouse.ru [7]. Быстровозводимые технологии и демпферные соединения подробно описаны в трудах Мушинского А.Н. и Зимина С.С. (2015) [10] и Яковлева Р.Н. (2008) [11], а актуальная нормативная база по свайным фундаментам представлена СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты [12], регламентирующим глубину заложения и коррозионную защиту в карстовых и прибрежных грунтах. Исследование базируется на системно-структурном подходе, в рамках которого предполагаются изучение работы материалов на циклы «мороз–оттепель» и влагостойкость, учёт ветровых нагрузок до 35 м/с и сейсмических воздействий до 7 баллов с учётом демпферных узлов, а также анализ нормативной базы для возведения и эксплуатации модульных домов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования - изучить инженерно-технологические приёмы и материалы для строительства модульных домов, с учётом климатических и инженерно-геологических особенностей Крыма. Для её достижения необходимо проанализировать климато-геологические

параметры региона на основе указанных источников, выполнить анализ работы SIP-панелей и термодревесины на влагостойкость и морозостойкость, смоделировать ветровые и сейсмические воздействия с учётом демпферных соединений и на основании полученных данных сформировать рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатации модульных домов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Модульные дома — сборные конструкции из готовых блоков/секций — стали популярным решением во многих странах. Однако в регионах с уникальным климатом, таких как Крым, их использование требует особого подхода.

При проектировании на территории Республики Крым, следует учитывать сложные инженерно-геологические условия и природно-климатические особенности:

- повышенная влажность воздуха;
- значительные сезонные перепады температур «лето-зима»;
- ветровые нагрузки;
- сейсмичность территории;
- сложные инженерно-геологические условия.

Эти факторы влияют на выбор материалов, конструкцию домов и их долговечность.

Применение технологии возведения модульных домов позволит сократить сроки строительства, минимизировать отходы и адаптировать конструкцию под конкретные условия.

Каркасная технология (пиломатериалы): деревянный каркас из клееного бруса или LVL-балок заполняется утеплителем (минеральная вата, эковата) и обшивается плитами (OSB, ЦСП) (рис. 1). Подходит для возведения в регионах с умеренной влажностью воздуха.

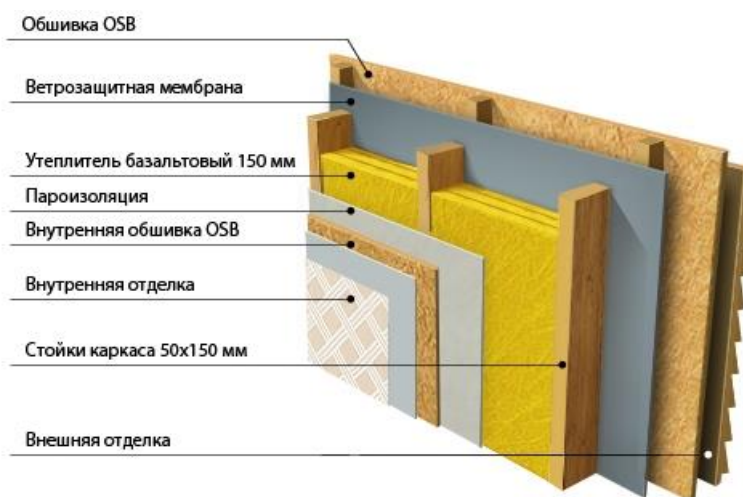


Рис. 1. Состав наружной ограждающей конструкции каркасного дома

SIP-панели (Structural Insulated Panel): сэндвич-панели из OSB-плит с пенополистирольным утеплителем. Отличаются высокой энергоэффективностью и быстрым монтажом, но требуют герметизации и эффективной вентиляции из-за чувствительности к влаге.

В России отсутствуют единые стандарты для SIP-домов, что создаёт определенные сложности при проектировании.

В таблице 1 представлены оптимальные размеры SIP-панелей.

Таблица 1. Оптимальные размеры SIP-панелей

Параметр	Значение
Толщина панели	124 мм (OSB 12 мм + утеплитель 100 мм + OSB 12 мм)
	174 мм (OSB 12 мм + утеплитель 150 мм + OSB 12 мм)
	224 мм (утеплитель 200 мм, усиленный вариант для пола) на рисунке 3,4 показаны узлы соединения
Ширина панели	1250 мм (стандарт), после распила – 622 мм
Высота панели	2500 мм (для одноэтажных домов)
	2800 мм (для двухэтажных зданий или помещений с высокими потолками)

Ширина панелей, сокращенная до 622 мм, за счет распила стандартных плит пополам (потеря 3 мм из-за толщины пилы), повышает жесткость конструкции вследствие увеличения количества укрепленных стыков.

Соединение обвязки для СИП-панелей выполняется с использованием бруса сечением 190×45 мм, который предварительно проходит калибровку на острожку для обеспечения плотного прилегания элементов. Перед установкой бруса на оголовки свай диаметром 108 мм обязательно укладывается двойной слой рубероида толщиной 3 мм в качестве гидроизоляционной прокладки, предотвращающей капиллярный подсос влаги.

Основное крепление осуществляется при помощи саморезов СК 10×280 мм, которые обеспечивают надежную фиксацию конструкции. Дополнительную устойчивость и сопротивление сдвигающим нагрузкам создают шурупы ШК 10×120 мм с увеличенными шайбами, устанавливаемые в количестве 4 штук на каждый узел соединения. Для усиления конструкции по всей длине обвязки с шагом 150 мм в шахматном порядке забиваются гвозди 4×90 мм, что придает системе дополнительную жесткость.

Узлы соединения пола с обвязкой представлены на рисунке 2.

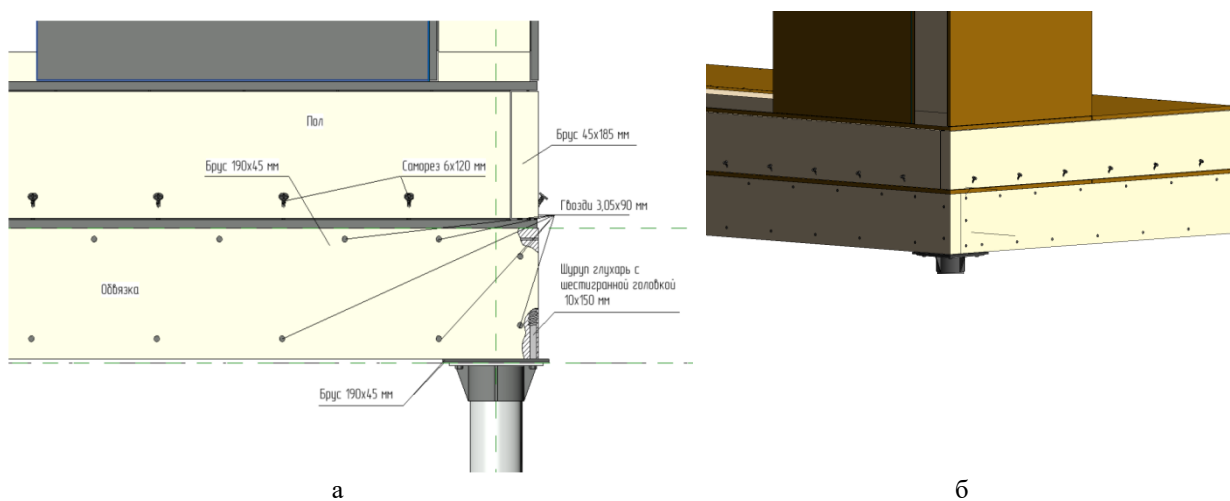


Рис. 2. Узел соединения пола с обвязкой (а - боковой вид, б - аксонометрия)

Перед монтажом все деревянные элементы должны быть обработаны антисептическими составами и антипиренами для защиты от биологического поражения и повышения огнестойкости. Особое внимание следует уделить точности установки - оголовки свай должны быть выведены в строгую горизонтальную плоскость, а крепежные элементы затягиваться равномерно без перекосов. В районах с повышенной влажностью рекомендуется использовать оцинкованный крепеж для предотвращения коррозии. Такая система соединения обеспечивает необходимую прочность и долговечность обвязочного контура, создавая надежную основу для последующего монтажа СИП-панелей и формирования жесткой каркасной конструкции здания. На рисунках 3 и 4 представлены конструктивные узлы обвязки для SIP-панелей.

Испытания на вертикальную нагрузку показали, что панели выдерживают до 12–13 тонн на погонный метр, что эквивалентно средней нагрузке от трёхэтажного здания. Представленный тип узла соединения обвязки обеспечивает устойчивость к горизонтальным нагрузкам, включая ветровую (до 30 м/с) и сейсмическую нагрузки.

Сопротивление теплопередаче SIP-панелей при 150 мм пенополистирола: 3,95 Вт/м²·°С (в 2,8 раза выше, чем у кирпичной стены 510 мм), а при 200 мм пенополистирола - ещё выше, что делает SIP-дома энергоэффективными и оптимальными для регионов с перепадами температур.

Требования к конструкциям проектируемого здания:

- сейсмостойкость;
- защита от ветра (усиленное крепление кровли, ветрозащитные экраны, аэродинамические формы зданий);

- терморегуляция (вентилируемые фасады и отражающие покрытия снижают перегрев и теплопотери).

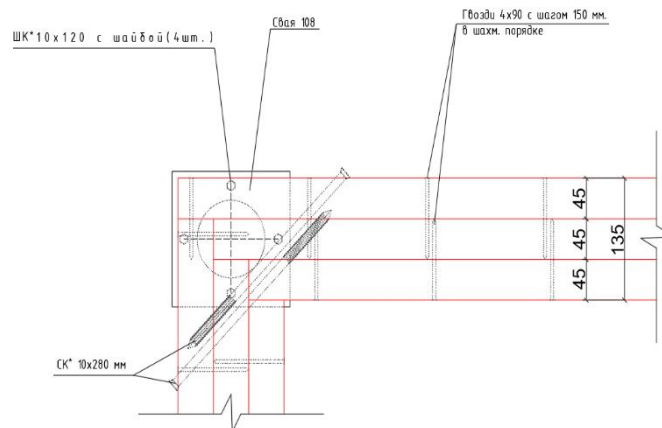


Рис. 3. Узел соединения обвязки. Вид сверху

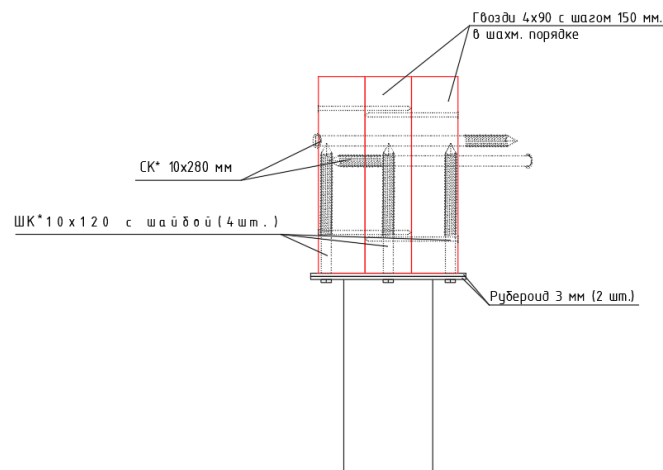


Рис. 4. Узел соединения обвязки. Вид сбоку

Фундаменты необходимо проектировать с учетом сейсмической опасности региона и в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Карстовые грунты, склонные к просадкам, требуют гибкости конструкции. Модули соединяются через демпферные прокладки из резины или полиуретана, которые компенсируют микроподвижки основания. Глубина заложения фундамента должна быть ниже активной зоны карста — на 2–3 метра, где грунт стабилен.

Проблема влажности и соленого воздуха в прибрежных зонах решается заменой стандартных металлических элементов на нержавеющую сталь или алюминиевые сплавы, устойчивые к коррозии. Деревянные конструкции, включая каркасы и обшивку, пропитываются антисептиками глубокого проникновения (например, на основе бора), а также восковыми составами, которые создают гидрофобный барьер. Для дополнительной защиты вентилируемые фасады могут быть облицованы керамогранитом или фиброцементными плитами, устойчивыми к солевым испарениям.

Борьба с грызунами в степных районах включает установку металлических сеток с мелкой ячейкой (не более 5 мм) по периметру цоколя и под полом. Сетки изготавливаются из оцинкованной стали и монтируются с уклоном наружу, чтобы перекрыть доступ вредителям. Дополнительно в утеплитель добавляют антисептические добавки, отпугивающие грызунов, например, борную кислоту.

Пожарная безопасность обеспечивается многоуровневыми мерами. Материалы пропитываются антипиренами, которые замедляют воспламенение: например, деревянные балки обрабатываются составами на основе фосфата аммония, а SIP-панели — огнестойкими модификациями пенополистирола (класс горючести Г1). Электропроводка прокладывается в металлических гофрах, скрытых между слоями гипсокартона: первый слой служит основой, второй

маскирует коммуникации, а третий, из огнестойкого ГКЛ, повышает предел огнестойкости до 60 минут. В отделке исключаются горючие материалы: вместо обоев применяют минеральные штукатурки с вермикулитом, а напольные покрытия выбирают из керамогранита или линолеума с классом пожарной безопасности КМ1.

Таким образом, модульные дома на основе SIP-панелей и каркасных технологий представляют собой эффективное решение для малоэтажного строительства в Крыму, сочетая прочность, энергоэффективность и устойчивость к климатическим условиям.

Крымский полуостров отличается уникальным сочетанием климатических, геологических и экологических факторов, которые требуют особого подхода к проектированию модульных домов. Рассмотрим ключевые аспекты и методы их компенсации.

Резкие суточные перепады температур (от +10°C днем до -5°C ночью зимой) провоцируют циклы замораживания и оттаивания материалов (таблица 2).

Таблица 2. Анализ последствий суточных перепадов температур (от +10°C днем до -5°C ночью зимой)

Материал	Проблемы	Последствия	Предлагаемые решения	Универсальные меры
Пиломатериалы	Впитывание влаги днем → расширение при замерзании ночью.	Микротрещины, деформация, гниение, рост плесени.	- Использование термо-модифицированной древесины (обработка паром при 200°C), снижающей гигроскопичность на 40–50%. - Покрытие гидрофобными составами с УФ-фильтрами (например, полиуретановые лаки с наночастицами оксида цинка)	Вентилируемые фасады с зазором 30–50 мм для отвода конденсата
SIP-панели	Проникновение влаги в стыки → разрушение клеевых соединений при замерзании.	Расслоение панелей, разбухание OSB, потеря теплоизоляции пенополистиролом.	Замена OSB на цементно-стружечные плиты (ЦСП) или ДВП высокой плотности с влагостойкой пропиткой. Герметизация швов бутилкаучуковыми лентами и эластичными клеями (например, MS-полимеры).	

Характеристики грунтов и сейсмической активности Крыма приведены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики грунтов и сейсмическая активность в Республике Крым

Геологическая зона	Характеристики	Риски	Инженерные решения
Карстовые плато	Известняковые породы с подземными полостями.	Просадки фундаментов до 10–15 см.	Винтовые сваи с глубинной анкерровкой (до 4 м) + гибкие демпферные соединения модулей.
Глинистые почвы	Высокое пучение при замерзании.	Деформация фундаментов.	Мелкозаглубленные ленточные фундаменты с дренажным слоем из щебня и геотекстиля.
Прибрежные зоны	Высокая соленость грунтовых вод.	Коррозия металлических элементов фундаментов.	Сваи из стеклопластика или оцинкованной стали с полимерным покрытием.

В горных районах Кавказа успешно применяются модульные дома на сейсмостойких фундаментах с шагом свай не более 1.5 м. Для Крыма рекомендована аналогичная схема, но с усиленной антикоррозийной защитой из-за соленого воздуха.

Ключевой задачей в эксплуатации модульных домов в Крыму является их адаптация к агрессивным климатическим и геологическим факторам. Для этого необходимо минимизировать энергопотери в условиях экстремальных температур. Летом, при температурах до +40°C, важно предотвратить перегрев помещений. Для этого применяются интеллектуальные системы остекления, такие как двойные стеклопакеты, заполненные аргоном, и окна с автоматическим

затемнением, снижающие теплоприток на 30%. В модульном отеле под Ялтой внедрение подобных технологий в сочетании с солнечными панелями, интегрированными в кровлю, позволило сократить энергопотребление на 45% по сравнению с традиционными зданиями. Зимой, при температурах до -5°C , эффективность отопления повышают рекуператоры воздуха, сохраняющие до 80% тепла за счет рециркуляции.

Высокая влажность и соленость воздуха в прибрежных районах ускоряют коррозию металлических элементов и деградацию древесины. Для защиты металлоконструкций используются оцинкованные крепежи и сваи с полимерным покрытием, а деревянные каркасы пропитываются антисептиками на основе бора, блокирующими развитие плесени и насекомых. Вентилируемые фасады с зазором 30–50 мм обеспечивают отвод конденсата, что предотвращает разбухание OSB-плит. Успешным примером адаптации стал проект в Судаче, где замена OSB на влагостойкие цементно-стружечные плиты (ЦСП) в сочетании с аэродинамической облицовкой устранила деформацию стен уже через год эксплуатации.

Сейсмические риски, характерные для горных районов Крыма, требуют применения гибких инженерных решений. Динамические демпферы, установленные в узлах каркаса, гасят колебания при землетрясениях до 6–7 баллов, а эластичные соединения между модулями компенсируют подвижки грунта. Мониторинг деформаций с помощью гироскопов и гигрометров позволяет своевременно выявлять смещения конструкций. Например, модульная школа в Симферополе (рисунок 5), построенная на винтовых сваях с гибкими стальными связями, успешно выдержала землетрясение силой 5 баллов без структурных повреждений.

Техническое обслуживание играет ключевую роль в продлении срока службы модульных домов. Ежегодная проверка герметичности швов SIP-панелей предотвращает расслоение стыков и потерю теплоизоляции. Очистка дренажных систем от засоров снижает риск протечек и намокания фундамента. Обновление антипиренов и антикоррозийных покрытий каждые 3–5 лет сохраняет огнестойкость и устойчивость материалов к влаге. Эти меры обеспечивают срок эксплуатации модульных домов до 50 лет, что сопоставимо с кирпичными зданиями.

По сравнению с капитальным строительством, эксплуатационные затраты на 20–30% ниже благодаря энергоэффективности (солнечная генерация, рекуперация) и простоте локального ремонта. Углеродный след модульных домов на 40% меньше, чем у бетонных аналогов, за счет сокращения отходов при производстве и монтаже. Кроме того, ремонтпригодность конструкций позволяет заменять отдельные модули без нарушения целостности здания, что невозможно в традиционном строительстве, требующем масштабных работ.



Рис. 5. Модульная школа в г. Симферополь

Таким образом, эксплуатация модульных домов в Крыму демонстрирует их конкурентоспособность при условии комплексного подхода, включающего адаптивные технологии,

регулярный мониторинг и профилактическое обслуживание. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию материалов для усиленной защиты от солености и разработку региональных стандартов, учитывающих специфику полуострова.

ВЫВОДЫ

Возведение модульных домов на территории Республики Крым является перспективным направлением, однако, требует комплексного подхода к проектированию и строительству.

В статье рассмотрены инженерно-технологические мероприятия и материалы для строительства модульных домов.

В результате исследования, предложены оптимальные решения по обеспечению долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым, включающие адаптивные технологии, регулярный мониторинг и профилактическое обслуживание.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В будущем стоит сосредоточиться на разработке региональных стандартов для SIP-панелей, а также на простых методах проверки герметичности стыков и теплопотерь прямо на стройке. Для повышения сейсмоустойчивости таких зданий, важно разработать технические решения, учитывающие особенности грунта. Также необходимо выполнить моделирование и проверку разработанных решений в различных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко, В. Н. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий в сейсмических районах / В. Н. Алексеенко, О. Б. Жиленко. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. – 226 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-014705-5. – DOI 10.12737/1000210. – EDN AKIVDR.
2. Барабаш, М.Б. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма/ М.Б. Барабаш, К.Т. Логвинова. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 317 с.
3. Достоинства и недостатки строительства из SIP-панелей // Хороший Дом. URL: <http://www.good-house.ru/1221/> (дата обращения: 05.06.25).
4. Исаева, Е. И. Быстровозводимые здания / Е.И. Исаева // СтройПРОФиль. - 2009. –№3(73). – С. 182-193.
5. Как устроены модульные дома // Т-Ж. URL: <https://t-j.ru/guide/modular-house/> (дата обращения: 05.06.25).
6. Климат Крыма // АЗОВСКИЙ курортная сеть. URL: <https://azovsky.ru/interesnoe-o-krume/klimat-kruma/> (дата обращения: 05.06.25).
7. Модульные дома. Материалы. Справочная информация // A&D MODULE. URL: <http://www.ad-m.info/materials.html> (дата обращения: 05.06.25).
8. Мушинский, А.Н. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений / А.Н. Мушинский, С.С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №4(31). – С. 182-193.
9. Присенко, В. Г. Природно-климатические особенности Крыма и здоровье населения / В. Г. Присенко, Е. Р. Махамова, А. В. Детарко // Инновации в науке. – 2014. – № 39. – С. 190-194. – EDN TAMKML.
10. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Минрегион России. М.: ОАО "ЦПП", 2011. – 152 с.
11. Яковлев, Р. Н. Новые методы строительства / Р.Н. Яковлев // Технология «ТИСЭ», 2008. – С. 124-167.
12. Сильченко, В. С. Влияние природно-климатических факторов на строительство зданий в северных регионах России / В. С. Сильченко, О. Б. Жиленко // Нормирование и оплата труда в строительстве. – 2019. – № 11. – С. 45-52. – EDN UOZGSK.
13. Авдиенко, Т. О. Высокие технологии в строительстве энергоэффективных зданий / Т. О. Авдиенко, О. Б. Жиленко // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 17(69). – С. 111-118. – EDN IMYGAO.
14. Голикова, А.А. Пассивный дом (экодом) / А.А. Голикова, З.С. Нагаева // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №14(66) – С. 16. EDN: BVVYOU

15. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. Раздел I. EDN: SXQNTF
16. Табунщиков, Ю.А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 1998. – №1. – С. 5-13.
17. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов / Файст Вольфганг. – М.: АСВ, 2011. – 148 с.
18. Лапин, Ю.Н. Экожилье - ключ к будущему / Ю.Н. Лапин. – М.: Алгоритм, 1998. – 155 с.
19. Лапин, Ю.Н. Автономные экологические дома / Ю.Н. Лапин. – М.: Алгоритм, 2005. – 414 с. EDN: QNLVHV
20. Свиридова, Е.В. Эффективная теплоизоляция. / Е.В. Свиридова // Технологии строительства. – 2017. – №3.119. – С. 34-35.
21. Антонов, В.М. Проектирование зданий при особых условиях строительства и эксплуатации: Учеб.пособ. / В.М. Антонов, В.В. Леденев, В.И. Скрылев. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 240 с.

CONSTRUCTION AND OPERATION OF MODULAR HOUSES IN THE NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

¹Zhilenko O.B., ²Marinich D.A.

^{1,2}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The pace of modular home construction in the Republic of Crimea is increasing every year. Their application is expanding, and standard designs are emerging. Due to the region's climatic and geological engineering features, specialized design solutions are required to ensure operational safety and structural reliability, as well as improve comfort and create a favorable indoor microclimate.

Objective: To study engineering techniques and materials for modular home construction. To propose optimal solutions for ensuring the durability and energy efficiency of modular homes in the Republic of Crimea.

Methods: Analysis of natural and geological conditions, load modeling using elastic dampers.

Result: This article examines engineering solutions and materials for modular home construction. The main challenges associated with their operation in the Republic of Crimea are identified. Given the region's unique climatic and geological engineering conditions, recommendations are developed to ensure operational safety and structural reliability.

Novelty: Optimal solutions are proposed to ensure the durability and energy efficiency of modular homes in the Republic of Crimea.

Keywords: Republic of Crimea, modular home, lumber, SIP panels, natural and climatic conditions.

Раздел 3. Экологическая безопасность

УДК 677.494

ИННОВАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРЕТНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ И ПОЛИЛАКТИДНЫХ ВОЛОКОН: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Загидуллина И.А.¹, Болдышева В.К.², Шакиров Т.Р.³

^{1,3} ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Казань, ул. Карла Маркса, 68, e-mail: ¹zagidullina_inna@mail.ru, ³timur.shakirov1993@mail.ru

² «Институт прикладных исследований» Академии наук Республики Татарстан, 420111, Казань, ул. Баумана, 20, e-mail: bkarasuno@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается разработка и исследование композиционных электретных волокон на основе полипропилена (ПП) с диоксидом кремния и полилактида (ПЛА) с техническим углеродом для эффективной фильтрации мелкодисперсных частиц. Показано, что трибоэлектризация сеток из этих волокон значительно влияет на фильтрацию воздуха от частиц ксерографических порошков, причем ПП-композиция при отрицательном заряде улучшает фильтрационную эффективность, тогда как ПЛА с положительным зарядом этого эффекта почти не демонстрирует. Исследование подтверждает перспективность сочетания синтетических и биоразлагаемых полимеров для создания высокоэффективных и экологически безопасных фильтров.

Ключевые слова композитные электретные волокна, полипропилен, полилактид, фильтрация мелкодисперсных частиц, трибоэлектризация, фильтрующие материалы, ксерографические порошки, экологически безопасные фильтры.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях роста глобальной экологической нагрузки фильтроматериалы играют ключевую роль в сохранении чистоты воздуха и воды, снижении выбросов загрязняющих веществ и поддержании здоровья экосистем [1]. Особенно актуальны эффективные фильтры с высокой способностью улавливать мелкодисперсные частицы (PM2.5 и меньше), способствующие снижению риска заболеваний и улучшению качества жизни [2].

Современные фильтрующие материалы постоянно совершенствуются с целью повышения эффективности очистки воздуха и воды при минимальном энергопотреблении и снижении негативного влияния на окружающую среду. Одним из перспективных направлений является использование электретных фильтров, в которых полимерные волокна получают и сохраняют электрический заряд, значительно повышающий способность улавливать микрочастицы [2, 3].

Полипропилен (ПП) традиционно применяется для производства электретных волокнистых материалов, благодаря химической стойкости, доступности и хорошей электретируемости, однако он плохо разлагается в природе, создавая проблему утилизации [4, 5]. В связи с этим полилактид (ПЛА) как биоразлагаемый полимер становится перспективной альтернативой: он обеспечивает сопоставимую фильтрационную эффективность, обладает способностью к электрическому заряду и быстрее разлагается, снижая экологический след фильтров. Технология электретирования PLA-материалов позволяет достичь фильтрационной эффективности до 99,5% и высокой стабильности заряда даже при воздействии влаги и температуры [6-8].

Комбинация синтетических полипропиленовых волокон с биоразлагаемыми полилактидными волокнами открывает новые перспективы в создании не только высокоэффективных, но и экологически безопасных фильтров [9]. С экономической точки зрения, такие фильтры обладают потенциалом снижения затрат промышленных предприятий за счет большей долговечности, возможности восстановления и меньшего негативного воздействия на окружающую среду, что уменьшает расходы на утилизацию и штрафы за загрязнение. Смешивание ПП- и ПЛА-волокон в структуре фильтра реализует баланс между долговечностью и биоразлагаемостью, расширяя сферу применения таких материалов в очистке промышленных выбросов, вентиляции и бытовых системах.

Экологический аспект использования фильтров на основе ПЛА подтверждается снижением отходов и уменьшением воздействия на свалки, учитывая быстрое биоразложение и возможность переработки после срока службы. Кроме того, высокая эффективность фильтрации частиц пыли снижает количественные потери загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты, что актуально для нормативного соответствия и снижения штрафов.

Экономические выгоды использования инновационных фильтров включают снижение расходов на обслуживание и замену благодаря повышенной стабильности заряда и долговечности, а также экономию энергии за счет уменьшения сопротивления воздушному потоку. Дополнительно, использование современных фильтров способствует улучшению репутации предприятий в сфере устойчивого развития, что положительно влияет на инвестиционную привлекательность. Применение оборудования с высокоэффективными фильтрами уменьшает количество простоев и ремонтов, повышая производительность производственных процессов и снижая операционные затраты. В совокупности, внедрение таких фильтров способствует устойчивому развитию как промышленных отраслей, так и рынка очистки воздуха и воды.

Комплексное изучение полипропиленовых и полилактидных электретенных волокон перспективно для создания эффективных, экологически чистых и экономически целесообразных фильтров.

Было показано, что введение различных добавок (наполнителей) в полимеры (в частности, в полипропилен и в полилактид) повышает их электретенные свойства и улучшает устойчивость электретенного эффекта [10-15]. Следовательно, использование волокон из композиционных материалов должно привести к большей эффективности очистки воздуха от пылевых частиц.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы стало получение полипропиленовых и полилактидных композиционных электретенных волокон и изучение их применимости для фильтрации мелкодисперсных частиц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования были использованы волокна из композиции полипропилена с диоксидом кремния и композиции полилактида с техническим углеродом. Фильтрующие материалы были напечатаны в виде волокон, собранных в сетки размерами 200*200 мм на 3D-принтере Creality K1 MAX с программным обеспечением OrcaSlicer. Температура печати составляла 220°C.

Сетки переводили в электретенное состояние трибоэлектризацией, для чего ПП и ПЛА сетки подвергали трению друг об друга в течение 30 секунд. Потенциал поверхности (V_s) сеток определяли на приборе ИПЭП-1.

О фильтрационных характеристиках сеток судили по количеству ксерографических тонирующих порошков XV 80 Yellow и KNPC Blue, которые задерживались на сетках после просеивания. Количественную оценку порошка, оказавшегося на сетке, осуществляли путем взвешивания образца определенной площади с порошком на аналитических весах с точностью 0,001 г. с последующим вычетом веса сетки. Визуализацию сеток до и после фильтрации осуществляли с помощью лабораторного оптического микроскопа Saike Digital SK2009HDMI-T.

Определение характеристик пористой структуры частиц порошков проводилось на анализаторе удельной поверхности и размеров пор «TOP 200» (Altamira Instruments, LLC) статическим волюметрическим методом низкотемпературной адсорбции азота. Перед испытаниями материал дегазировался при температуре 30° С в течении 8 часов в условиях вакуума. Адсорбционные исследования дегазированного материала проводились при температуре 77,35 К с использованием в качестве адсорбата – азота особой чистоты (объемная доля азота не менее 99,999%). Адсорбционная удельная поверхность частиц определялась по методу БЭТ, а объем и размера пор - по методу ВЖН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для начала охарактеризовали ксерографические порошки. Цветные порошки были выбраны для того, чтобы можно было легче визуализировать из на бесцветной (для полипропиленовых композиционных волокон) и черных (для полилактидных композиционных волокон) сетках. Ксерографические порошки имеют достаточно малый размер частиц (2-15 мкм) неправильной формы с пористой поверхностью, о чем свидетельствуют значения удельной поверхности и объема и размера пор в таблице 1.

Таблица 1.
Результаты определения удельной поверхности и пористости

Ксерографический порошок	Размер частиц, мкм	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г	Объем пор, см ³ /г	Средний размер пор, нм
KNPC (синий)	2-5	13,61	0,04	11,53
XV80 (желтый)	3-15	8,04	0,03	15,30

При просеивании порошков через сетки выявилась следующая картина, показанная в таблице 2.

Таблица 2.
Масса порошка, задержавшихся на полимерных сетках после просеивания

Ксерографический порошок	Масса задержавшегося порошка, г/м ²			
	на ПП-сетке	на электретной ПП-сетке	на ПЛА-сетке	на электретной ПЛА-сетке
KNPC (синий)	2,78	6,36	4,44	3,04
XV80 (желтый)	5,11	8,11	3,11	3,31

Видно, что количество порошка, задерживающегося на полимерной сетке после просеивания, зависит от вида полимерной композиции и от состояния сеток – исходного или электретного. Можно констатировать следующее. Во-первых, на сетке задерживается очень малое количество порошка. Это объясняется тем, что сетки являются лишь модельными образцами, имитирующими фильтровальные материалы – размер их ячеек во много раз превышает размер частиц ксерографических порошков.

Во-вторых, после трибоэлектризации сеток количество задерживающихся частиц порошка на них изменяется, причем для полипропиленовой оно увеличивается в ~1,6 (для синего порошка) и в ~2,3 (для желтого порошка) раза, а для поллилактидной – почти не изменяется, даже несколько снижается (таблица 2). Это наглядно видно и на фотографиях сеток с задержавшимся на их волокнах частицами порошков на рисунке 1.

Это связано с тем, что после трения сеток друг об друга у них появляется постоянное электрическое поле с потенциалом поверхности –0,34 кВ для сетки из композиции полипропилена с аэросилом и +0,19 кВ для сетки из композиции полилактида с техническим углеродом.

Электретные фильтры улавливают частицы загрязнений не только за счет механических сил, но и за счет электрических. Это наглядно видно на рисунке 1. Например, на волокнах полипропилена частицы синего порошка находятся непосредственно на волокнах (рис. 1б), а на электретных полипропиленовых волокнах частиц порошка намного больше и они прилипли и к краям волокон (рисунк 1в). Как правило, частицы тонирующего порошка заряжены или отрицательно, или положительно (как применяемые KNPC и XV80). Учитывая, что ПП при трении заряжается отрицательно, а ПЛА — положительно, становится ясно, почему при трибоэлектризации количество порошка на ПП-волокнах, заряженных отрицательно, увеличивается, а на ПЛА-волокнах, имеющих тот же знак заряда, что и порошок — нет (таблица 2).

Конечно, при электретировании сеток распространенными методами коронного разряда или термополяризации значения их электретных свойств, а, следовательно, и эффективность фильтрации будет значительно выше. Также, не стоит забывать, что в промышленной фильтрации используют не сетки, а нетканые волокнистые материалы, у которых и размер ячеек меньше, и площадь волокон намного больше. Можно предположить, что при применении двухкомпонентных полимерных волокнистых материалов на основе полипропилена и полилактида будет происходить трение волокон друг от друга, что приведет к их трибополяризации и, как следствие, повышению фильтрующей способности фильтров на их основе.

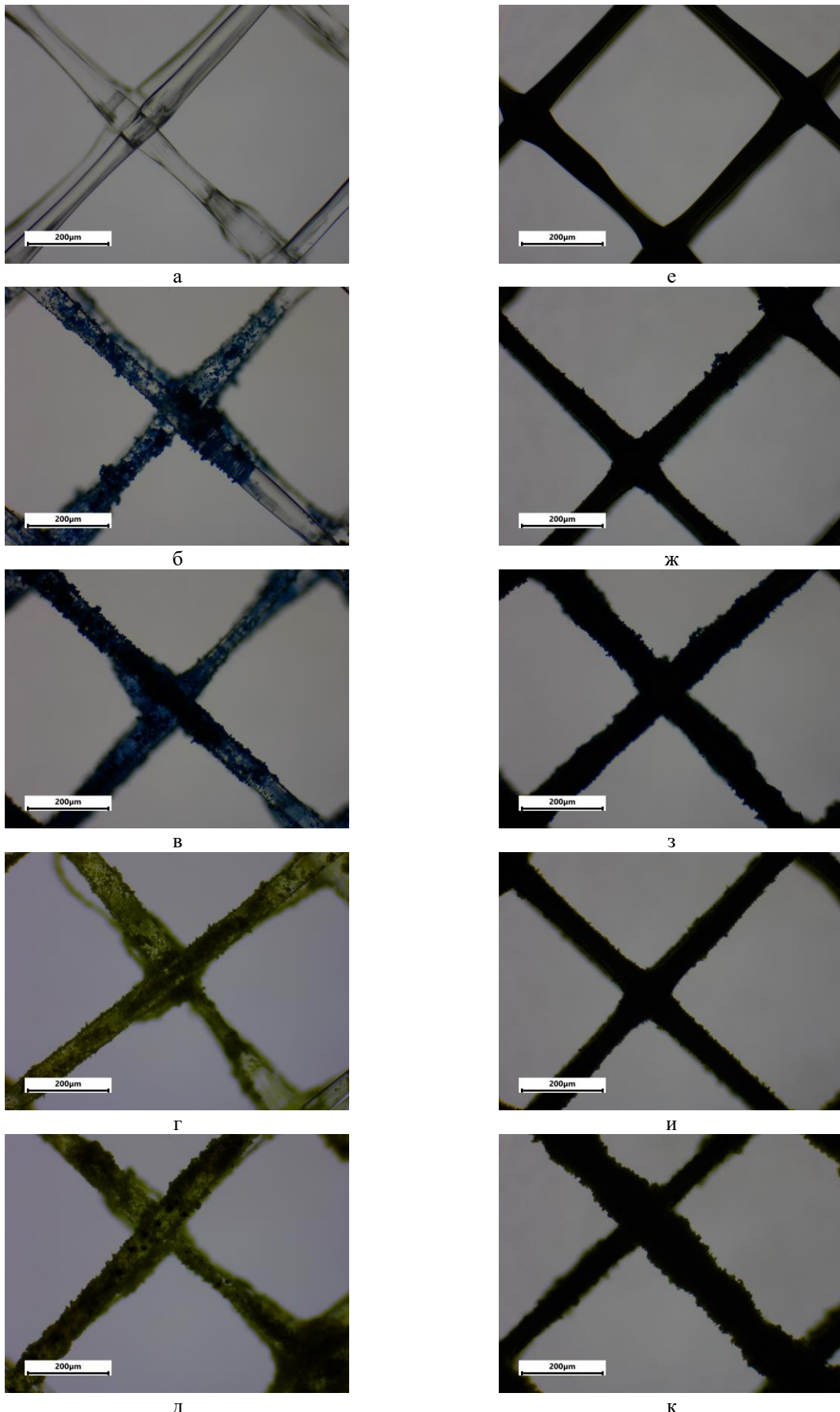


Рис. 1. Фотографии полипропиленовых (а-д) и полилактидных (е-к) сеток до (а, е) и после просивания через них ксерографического порошков — синего KNPC (б, в, ж, з) и желтого XV80 (г, д, и, к) с увеличением 4×: исходные сетки (а, б, г, е, ж, и) и сетки после трибоэлектретирования (в, д, з, к)

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе показано, что трибоэлектризация сеток из ПП-композитов приводит к увеличению количества отфильтрованных частиц порошков в 1,6–2,3 раза, в то время как для ПЛА-сеток наблюдается снижение или незначительное изменение степени фильтрации. Отрицательный заряд ПП-волокон после трения способствует притяжению противоположно заряженных загрязняющих частиц, улучшая эффективность фильтрации. ПЛА-волокна с зарядом того же знака, что и частицы, не демонстрируют аналогичного эффекта.

Использование сочетания полипропиленовых и полилактидных волокон в фильтрах может обеспечить баланс между долговечностью и биоразлагаемостью, снижая экологический след при сохранении высокой фильтрационной способности. Применение композиционных электретных фильтров потенциально снижает энергетические и эксплуатационные затраты промышленных предприятий, а также уменьшает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты.

Для повышения фильтрационной эффективности промышленных материалов рекомендуется применять двухкомпонентные нетканые волокнистые структуры.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (Соглашение No114/2024-ПД).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sutherland, K. *Filters and Filtration Handbook Fifth Edition* / K. Sutherland. – Burlington: Butterworth-Heinemann, 2008. – 507 p.
2. Zhang, H. Design of electret polypropylene melt blown air filtration material containing nucleating agent for effective PM2.5 capture / H. Zhang, J. Liu, X. Zhang, C. Huang, X. Jin // *RSC Adv.* – 2018, 8, 7932. DOI: 10.1039/c7ra10916d.
3. Li, K. Research of electret air filter: A review / K. Li, G. Feng, T. Chen, H. Zhao // *Polymers for Advanced Technologies.* – 2024. – Vol. 35, Issue 6. e6454. <https://doi.org/10.1002/pat.6454>
4. Galikhanov, M.F. Unipolar Corona Discharge Effect on Fil-tering Capacity of Polypropylene Non-Woven Fabrics / M.F. Galikhanov // *Fibre Chemistry.* – 2017. – Vol. 48. № 6. – P. 473-477. DOI: 10.1007/s10692-017-9820-z
5. Abdurasul, M. Polypropylene Fibers: Properties, Production, and Applications. / M. Abdurasul, J. Asalkhon // *Miasto Przyszłości.* – 2025. – Vol. 58, – P. 417-419. <https://miastoprzyszlosci.com.pl/index.php/mp/article/view/6217>
6. Zhu, Q. Electrostatic Properties of Nonwoven Masks Made of Polylactic Acid / Q. Zhu, S. Kiuchi, M. Pennington, T. Hashimoto, K. Sugihara // *ACS Omega.* – 2025. – 10(27). – 29522-29529. doi: 10.1021/acsomega.5c02906.
7. Zhao, B. Polylactic acid-based composite filter with multi-gradient structure developed for high-efficiency particulate matter filtration and NH₃ purification / B. Zhao, M. Han, Q. Wang et al. // *Separation and Purification Technology.* – 2025. – V. 354, 129354. DOI: 10.1016/j.seppur.2024.129354
8. Shang, H. Bioelectret poly(lactic acid) membranes with simultaneously enhanced physical interception and electrostatic adsorption of airborne PM0.3 / H. Shang, K. Xu, T. Li et al. // *J Hazard Mater.* – 2023. – V. 458. 132010. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132010
9. Lyu, L. An insight into the benefits of substituting polypropylene with biodegradable polylactic acid face masks for combating environmental emissions / L. Lyu, H. Peng, C. An, H. Sun, X. Yang, H. Bi // *Sci Total Environ.* – 2023. – V. 905. 167137. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167137
10. Viraneva, A. Electret properties of PP/ZnO and PP/CuO composite films / A. Viraneva, T. Yovcheva, M. Galikhanov // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.* – 2015. – T. 22. № 3. – C. 1343-1348. DOI: 10.1109/TDEI.2015.7116320
11. Kilic, A. Improving electret properties of PP filaments with barium titanate / A. Kilic, E. Shim, B. Yeol et al. // *J. Electrostat.* – 2013. – Vol. 71, – pp. 41-47. DOI: 10.1016/j.elstat.2012.11.005
12. Kaczmarek, H. Piezo-electrets from polypropylene composites doped with mineral fillers /

H. Kaczmarek, M. Chylińska, E. Klimiec et al. // Pure Appl. Chem. – 2019; – 91(6): – 967–982. <https://doi.org/10.1515/pac-2018-0702>

13. Guzhova, A.A. Charge depth in polylactic acid electret filled with fine filler / A.A. Guzhova, M.F. Galikhanov // Bulgarian Chemical Communications. – 2015. – Vol. 47. Special Issue B. – Pp. 103-108.

14. Zagidullina, I.A. The study of the electret properties of polylactic acid and mineral fillers. / I.A. Zagidullina, M.F. Galikhanov, R.I. Kamalova et. al. // AIP Conference Proceedings. – 2020. – vol. 2313. no. 1. – pp. 050048. DOI: 10.1063/5.0033479

15. Galikhanov M., Guzhova A., Zagidullina I. 2022. Improvement of Electret Properties of Polylactide by Loading Mineral Fillers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 29 (3): 784–787. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3173499

INNOVATIVE ELECTRET FILTERS BASED ON POLYPROPYLENE AND POLYLACTIDE FIBERS: ECOLOGICAL ADVANTAGES AND ECONOMIC POTENTIAL

¹Zagidullina I.A., ²Boldysheva V.K., ³Shakirov T.R.

^{1,3}Kazan National Research Technological University, Kazan

²Institute of Applied Research, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan

Annotation. This article discusses the development and study of composite electret fibers based on polypropylene (PP) with silicon dioxide and polylactide (PLA) with technical carbon for effective filtration of fine particles. It is shown that the triboelectrification of networks made from these fibers significantly affects the filtration of air from xerographic toner particles, with the PP composite under a negative charge improving filtration efficiency, whereas the PLA with a positive charge shows almost no such effect. The study confirms the promise of combining synthetic and biodegradable polymers to create highly efficient and environmentally safe filters.

Keywords: composite electret fibers, polypropylene, polylactide, fine particle filtration, triboelectrification, filtering materials, xerographic toner particles, environmentally safe filters.

УДК 663.6:006

О ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИ «СЕРОЙ ВОДЫ»

Одинцов А.Н.

ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет,
299053, г. Севастополь, Российская федерация, ул. Университетская, 33, e-mail: anodincov@sevsu.ru

Аннотация. Статья посвящена дальнейшему совершенствованию подходов касающихся вопросов возможности и целесообразности повторного использования «серой воды». Основная задача данной работы – показать одно из направлений прямого использования части «серой воды» без необходимости ее предварительной очистки и обработки.

В работе представлена принципиальная схема устройства, позволяющего физически разделять «серую воду» на две фракции - светло-серую и темно-серую. Показано, что значительная часть т.н. светло-серой воды практически не загрязнена и может быть использована напрямую, без проведения сложных и дорогостоящих мероприятий по ее очистке и подготовке к дальнейшему безопасному использованию, например в системах полива.

Ключевые слова: питьевая вода, черная вода, серая вода, повторное использование.

ВВЕДЕНИЕ

Биосфера (от греч. βίος — жизнь и σφαῖρα — сфера, шар) — оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их непрерывным воздействием, глобальная экосистема Земли. Термин «биосфера» был введён в биологии Жаном-Батистом Ламарком еще в начале XIX в., а в геологии предложен австрийским геологом Эдуардом Зюссом в 1875 году, который относил это понятие к поверхности материков.

С именем выдающегося ученого В.И. Вернадского связано создание учения о биосфере - «пленке жизни» и ее переходе в ноосферу. Основным в учении о ноосфере является единство биосферы и человечества которую он рассматривал как высшую стадию развития биосферы. Он впервые отнёс живым организмам роль главнейшей преобразующей силы планеты Земля, учитывая их деятельность не только в настоящее время, но и в далеком прошлом. Толщина биосферы, которая включает в себя нижний слой атмосферы 15-20 км, верхний слой литосферы 8-10 км и гидросферу около 12 км, в среднем составляет около 30 км. Учитывая средний радиус земного шара 6371 км, толщина биосферы составляет около 0,5% его длины, что полностью согласуется с определением «пленка жизни». Для более наглядного представления о толщине биосферы, можно вспомнить устройство любого небольшого школьного глобуса, у которого на сферическую основу наклеена бумажная или пластиковая карта, отображающая расположение океанов и материков. В такой наглядной модели, толщина бумажной карты может превышать толщину биосферы. При этом не следует забывать и о том, что в настоящее время, человечество способно извлекать различные минеральные, биологические и другие ресурсы только из зоны биосферы, поскольку другие области добычи необходимых человечеству ресурсов пока еще не освоены.

Вода также является важным ресурсом. Хотя поверхность земли покрыта водой более чем на 70%, доля пресной воды не превышает 2,5-3 % ее объема. При этом почти 69% запасов пресной воды находится в виде льда, а запасы подземных вод оцениваются примерно в 30%. Оставшиеся чуть более 1% пресной воды сосредоточены: в зонах вечной мерзлоты – 0,86%; в пресных озерах – 0,26% (из них 20% приходится на озеро Байкал и практически не используется в хозяйственной деятельности); в атмосфере в виде пара – 0,04%; в реках – 0,006%.

Таким образом на поверхностные воды, которые в основном и использует человечество для бытовых и производственных нужд приходится не более 0,22%, что, собственно, и объясняет существующие сегодня проблемы нехватки чистой пресной воды.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Анализ ряда публикаций [1 – 6], показывает, что на сегодняшний день проблемой нехватки чистой питьевой воды занимаются как отдельные коммерческие и некоммерческие организации, так и различные крупные международные организации например, ООН, ВОЗ и др.

В большинстве опубликованных материалах [1–4, 6] можно выделить одно доминирующее направление – возможность повторного использования части бытовых сточных вод.

В большинстве указанных выше публикаций, бытовые сточные воды делятся на два основных вида: «черную воду» и «серую воду». «Черной водой» называется вода, которая поступает в канализацию из туалетов и содержит различные септические отходы. «Серой водой», называется часть бытовых сточных вод, которая не содержит «черной воды», то есть это сточные воды из раковины, душа, ванны, кухни, посудомоечной и стиральной машины.

В источнике [5], в зависимости от степени и типа загрязненности выделяют воду, более пригодную к рециклированию (вода из душа, умывальников) и менее пригодную к рециклированию (вода из кухонь и посудомоечных машин). В [2] отмечается, что серая вода содержит меньше патогенов и ее как правило безопаснее и легче обрабатывать и повторно использовать на месте для ландшафтного орошения или орошения сельскохозяйственных культур и других не питьевых целей. Там же отмечается, что переработанная серая вода из душевых и ванн может использоваться для промывки туалетов в большинстве европейских и австралийских юрисдикций, а также в юрисдикциях США, принявших Международный кодекс сантехники. Предполагается, что такой подход мог бы обеспечить, сокращение потребления чистой питьевой воды на 30% для среднего домохозяйства.

Анализ публикаций [1-7] показывает, что очистка даже не сильно загрязненных серых вод является достаточно сложной технической задачей, требующей применения механических, биологических, химических и ряда других способов, например, УФ обработка или озонирование. Все это требует установки и обслуживания дорогостоящего оборудования, закупки расходных материалов, затрат электроэнергии и других текущих расходов.

В данной работе применяется экспериментально-аналитический метод исследования, который требует введения соответствующих граничных условий и ограничений. Так, в частности, в качестве объекта исследования будет выступать типичные частные домохозяйства, не относящиеся к многоэтажной плотной застройке, а предметом исследования является загрязненная вода, поступающая в канализационную систему.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является системный анализ момента загрязнения чистой воды и поиск путей возможного использования части т.н. «серых вод» без необходимости проведения сложных и дорогостоящих мероприятий по ее очистке и подготовке к дальнейшему безопасному использованию.

В соответствии с поставленной целью основными задачами исследования являются:

1. Оценка объемов и степени загрязнения воды при ее бытовом использовании;
2. Обоснование возможности разделения потоков сточной воды в зависимости от физических и химических особенностей загрязнителей.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

1. Вода.

1.1. Питьевая вода.

Пресная вода из многих естественных источников как правило непригодна для употребления людьми в качестве питьевой, так как может стать источником распространения различных болезней и вызывать проблемы со здоровьем, если она не отвечает определенным стандартам качества.

Основными источниками питьевой воды являются водохранилища, реки и озера. Поступающую из них воду, предварительно очищают и обеззараживают муниципальные службы, осуществляя при этом все этапы водоподготовки и водоочистки, необходимые для получения сначала технической, а затем и водопроводной воды.

В Российской Федерации действуют Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения [8] и ГОСТ Р 51232-98 "Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля" [9]. Стандарт [9] распространяется на воду, производимую и подаваемую централизованными системами питьевого водоснабжения, и устанавливает общие требования к организации и методам контроля качества питьевой воды.

В данной работе принимается условие того, что вода, поступающая для потребления из крана, является питьевой, не вредит здоровью человека и отвечает всем требованиям действующих стандартов качества [8 и 9].

1.2. Серая вода.

Как уже было отмечено выше, к «серой воде» относят часть бытовых сточных вод, которая не содержит «черной воды», то есть это сточные воды из раковины, душа, ванны, кухни, посудомоечной и стиральной машины. Данное определение серой воды может быть отнесено к большей части типичных домохозяйств, оснащенных соответствующим сантехническим и другим оборудованием.

В ряде работ [4, 5] сделаны попытки оценки процентного соотношения черных и серых вод, но их значительный диапазон (от 30 до 80 %) не позволяет использовать их для достоверного анализа.

Однозначную функцию $W = f(\sum V_i)$ описывающую процентное соотношение распределения чистой воды, которая в результате хозяйственной деятельности становится «черной», «серой» или используется для каких-либо других целей получить практически невозможно. Это связано с тем, что $f(\sum V_i)$ даже для типичного домохозяйства зависит от большого числа самых различных факторов. В приведенной выше формуле под V_i следует понимать объем загрязненной или используемой воды для других целей, например, полив, мойка а/м и т.п. На рис. 1 изображена схема водоподведения, хозяйственного использования и водоотведения сточных вод характерная для большинства типичных домохозяйств.

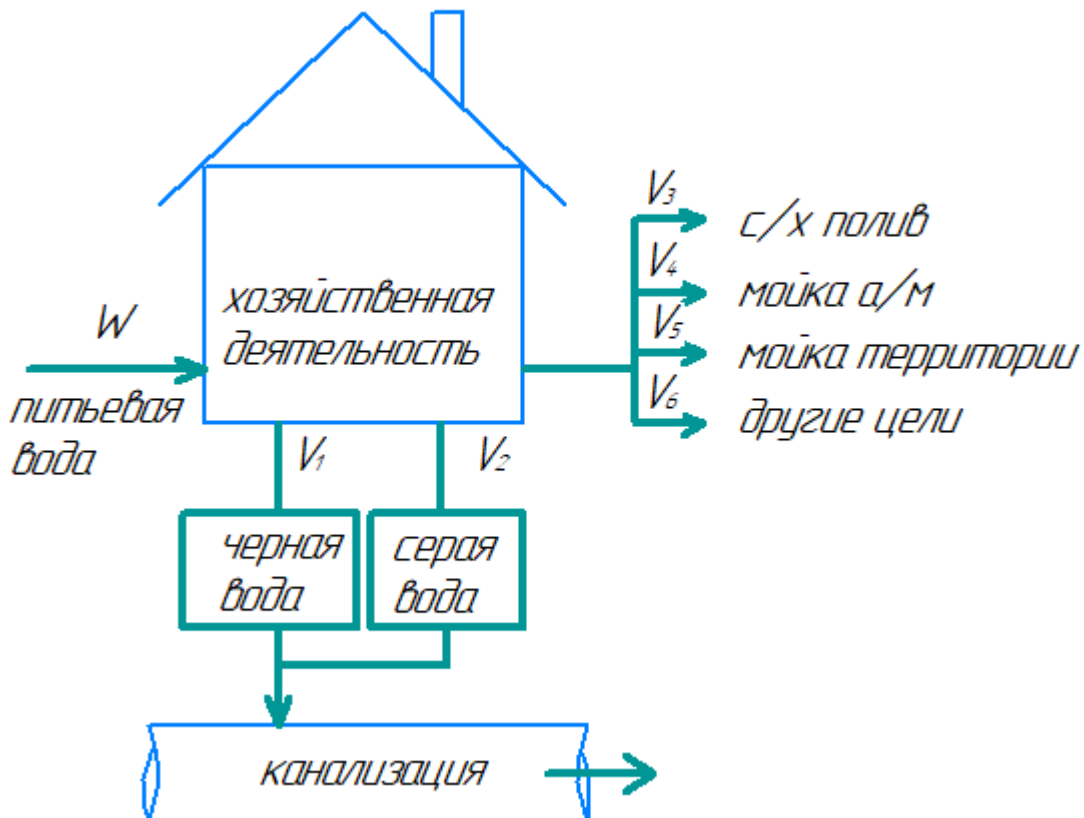


Рис. 1. Использование воды в типичных домохозяйствах

Из рис. 1 видно, что $W \geq \sum V_i \geq V_1 + V_2$, поскольку каждая составляющая V_i зависит от числа проживающих людей, наличия домашних животных, площади с/х или приусадебного участка, наличия автомобиля и ряда других факторов. Другой однозначной функцией объема используемой на те или иные задачи воды V_i безусловно будет являться ее обратная зависимость от стоимости, представленная на рис. 2.

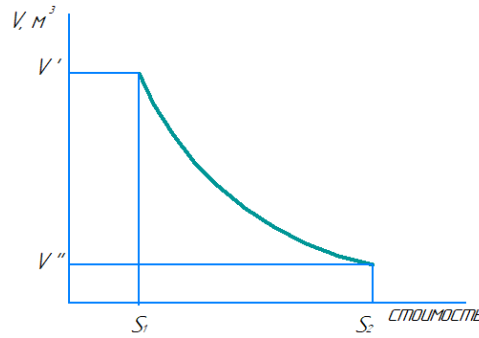


Рис. 2. Характерная зависимость объема потребляемой воды от ее стоимости

Положение кривой $V = f(S)$ на графике рис. 2, в значительной степени будет определяться дефицитом воды в конкретном регионе и возможностями ее оплаты населением.

1.3. Существующие подходы в использовании серой воды

На сегодняшний день, анализируя подходы в использовании серой воды описанные в [1–4, 6] сводятся к тому, что такая вода аккумулируется в достаточно большом объеме и подвергается нескольким этапам очистки.

На первом этапе, как правило, происходит очистка от крупных частиц с помощью сетчатых и т.п. фильтров, затем в отстойнике происходит разделение всплывающих и оседающих на дно частиц. Далее, серая вода в зависимости от технологии, которую предлагает та или иная фирма, она подвергается биологической и (или) химической очистке, используется обратный осмос. В случае необходимости длительного хранения, очищенная серая вода может быть подвергнута озонированию или воздействию УФ излучения.

В работах [1–4, 6] делается акцент на то, что при недостаточном уровне очистки серой воды она должна быть использована в течение 24 часов, поскольку более длительное хранение сопровождается размножением болезнетворных бактерий и возникновению неприятных запахов, что безусловно сводит на нет все затраченные усилия.

На рис. 3 приведена типичная схема повторного использования серой воды.

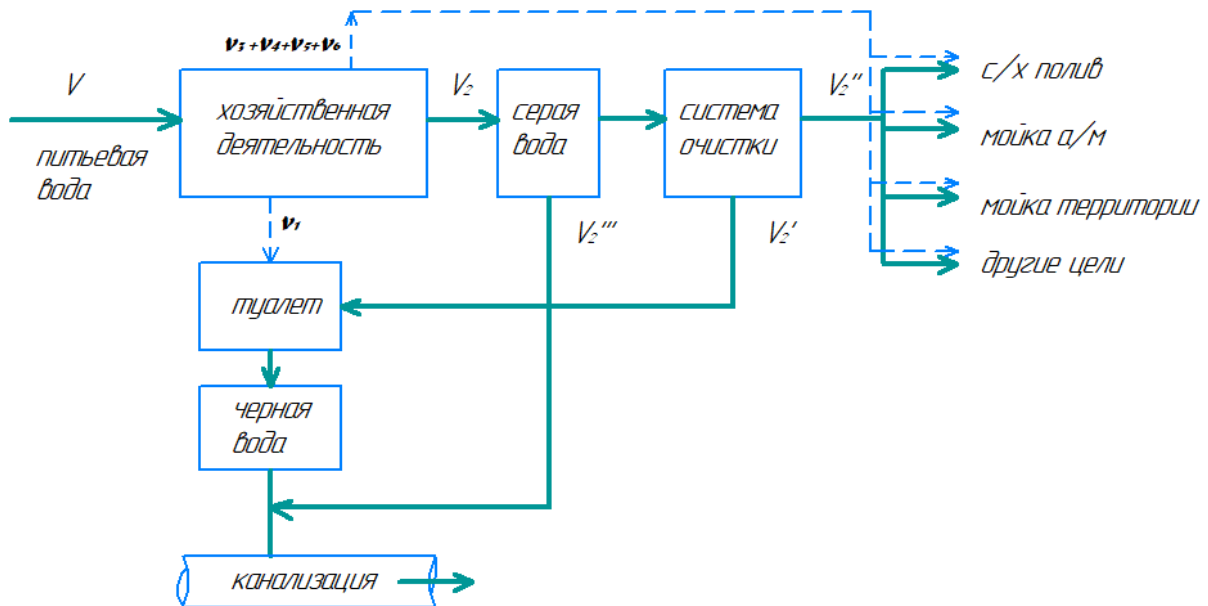


Рис. 3. Типичная схема рециклинга серой воды:
 где, v_1, v_3, v_4, v_5 и v_6 – уменьшенные объемы питьевой воды при возможности повторного использования «серой воды» в объеме $V_2 = V_2' + V_2'' + V_2'''$

Из рис. 3 видно, что значительную часть серой воды можно использовать повторно. В этом случае уравнение водного баланса будет выглядеть как:

$$V = \Sigma(v_1, v_3, v_4, v_5 \text{ и } v_6) + V_2. \quad (1)$$

Максимальная экономия воды ΔV по сравнению с объемом W представленным на рис. 1. может определяться выражением (2):

$$\Delta V = W - V = W - (\Sigma(v_1, v_3, v_4, v_5 \text{ и } v_6) + V_2), \quad (2)$$

при условии того, что вся серая вода используется повторно и, соответственно, $V_2''' = 0$, см. рис. 3.

Однако из-за того, что в серую воду могут попадать воды со значительными специфическими загрязнителями (стиральный порошок, моющие средства и т.п.) потребуется очистка и обеззараживание существенно большего суммарного объема V_2 . В этом случае необходимо оценить стоимость очищенной серой воды объемом V_2 и сравнить ее со стоимостью чистой воды того же объема. Может возникнуть ситуация, когда очистка серой воды объемом V_2 может оказаться экономически нецелесообразной на данном этапе развития существующих технологий ее очистки.

1.4. Анализ объемов и степени загрязнения серой воды

Из публикаций [4, 10, 11, 13] можно сделать вывод о том, что основной расход воды на одного человека в сутки приходится на принятие душа (ванны) и смывание туалета. На них, по данным [4] может приходиться до 65% всего объема потребляемой воды в сутки. В [10] приводится оценка расходов воды: на принятие душа (ванны) – 100 л, а на смывание туалета от 50 до 100 л в сутки. В целом эти оценки имеют прямую корреляцию с расчетными расходами воды потребителями, приведенными в СП 30.13330.2020, см. Табл. А.2 [12]. Доли воды, расходуемые на различные хозяйственные нужды представлены на рис. 4.

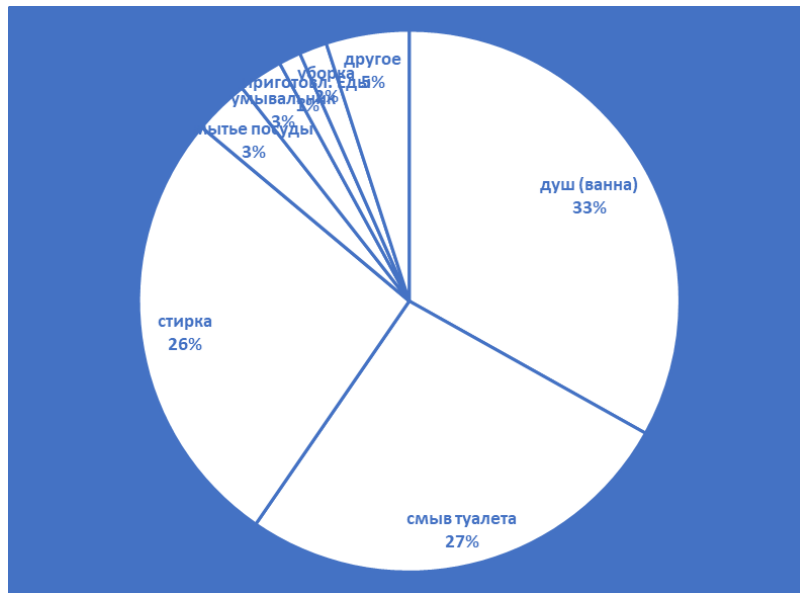


Рис. 4. Характерное распределение воды на различные хозяйственные нужды

Совершенно очевидно, что построить точную диаграмму распределения воды на различные хозяйственные нужды достаточно сложно, поскольку реальные доли зависят от множества различных факторов. Так, например, объем воды, расходуемый на стирку, будет зависеть от класса энерго и водопотребления используемой стиральной машины, а также выбранной программы стирки. Расход на мытье посуды будет зависеть от наличия посудомоечной машины. Величина расхода воды для смыва в туалете будет зависеть от наличия в сливном бачке устройств,

обеспечивающих режим экономного смыва. Среднее время принятия душа оценивается в 8-15 мин, при среднем расходе воды 8 – 15 л/мин. Таким образом расход воды может составлять 64 - 225 литров.

Учитывая статистические данные по процентному распределению серой воды в типичном домохозяйстве, представленные на рис. 4, можно сделать вывод, что наибольший практический интерес представляет объем серой воды, образующийся при принятии душа. При этом следует отметить, что в случае приема ванны, практически весь объем воды будет загрязнен СПАВ. Ко второму источнику по объему серой воды можно отнести стиральную машину.

Анализируя данные, представленные на рис. 4, можно сделать промежуточные выводы о том, что в термин «серая вода» целесообразно ввести некую градацию, а именно, следует ввести термины: «темно-серая вода» и «светло-серая вода».

К темно-серой воде следует отнести воду, содержащую значительное количество твердых механических загрязнений (грязь, песок, накипь и т.п.) и рН которой соответствует щелочной (рН >9) или кислой (рН <4) среде. Для очистки и нейтрализации такой воды будет необходимо использовать больше химических и биологических реагентов, а также энергетических затрат на перекачивание большего объема воды. Как уже было отмечено выше, затраты на очистку и обеззараживание темно-серой воды могут значительно превысить стоимость чистой воды.

Гораздо больший практический интерес представляет светло-серая вода, которая имеет существенно меньшую степень загрязнения.

Если детально рассмотреть процесс принятия душа и выполнить соответствующий хронометраж, то можно увидеть, что образующаяся серая вода в течение 40 – 60 % времени не будет загрязнена СПАВ (мыло, шампунь и т.п.), т.е. будет достаточно чистой и может быть использована повторно без необходимости проведения специальных процедур по ее очистке и нейтрализации. Такая вода может быть безусловно отнесена к категории – светло-серая вода, которую можно безопасно использовать для полива растений, непосредственно употребляемых в пищу. По сути, к светло-серой воде также можно отнести всю чистую воду из крана, попадающую на поверхность ванны (поддона душа) или раковины, до того момента пока она не начала свое движение по сливной трубе, которая может быть засеяна плесневыми грибами, микроорганизмами или иметь другие загрязнения.

Следует обратить внимание на то, что объем воды V_3 , см. рис.1, требующийся для с/х полива, в некоторые жаркие и засушливые периоды года может превышать суммарные объемы воды, расходуемые на другие хозяйственные цели.

Если выполнить анализ степени загрязнения серой воды от стиральной машины, то можно отметить, что она в значительной степени загрязнена СПАВ сразу после стирки и после 1-2-х полосканий. Далее она также может быть отнесена к категории светло-серой воды.

То же самое можно сказать и о серой воде из кухонной мойки. По нашим оценкам эта вода оказывается загрязненной СПАВ не более 30 – 50 % времени ручного мытья посуды. В остальное время она в основном загрязнена остатками пищи, жирами и др. органическими и неорганическими загрязнениями (песок, частицы земли и т.п.), которые также не представляют опасности для полива растений а, по сути, являются удобрениями для них. В случае применения натуральных моющих средств (мыльный корень, горчичный порошок и т.п.) такая вода также может быть безопасно использована для полива растений.

2. Способ механического разделения серой воды

Как уже было отмечено выше, наибольший интерес для повторного использования представляет т.н. светло-серая вода, которую целесообразнее всего напрямую использовать для полива растений, поскольку в этом случае отпадает необходимость в ее накоплении и хранении. Для повышения безопасности при использовании светло-серой воды можно полностью согласиться с подходом, изложенным в [6], в котором предлагается метод подземного орошения или использование капельного полива под слоем мульчи. В [6] полагают, что: - «подпитка грунтовых вод использует естественную фильтрующую способность почвы и микроорганизмы, которые расщепляют соединения и патогены, а также повышают уровень грунтовых вод».

Из диаграммы, представленной на рис. 4, видно, что другим потенциальным потребителем серой воды является промывка туалета. Для этого может быть использована т.н. темно-серая вода, фактический объем которой может быть определен как $V_{TC} = V_2 - V_{CC}$. В данном случае в качестве

«источника» получения темно-серой воды целесообразно использовать душ (ванну), раковину и стиральную машину. Для того чтобы исключить необходимость ее очистки и обеззараживания, данную воду целесообразно сразу же сбрасывать непосредственно в унитаз, обеспечивая тем самым его периодическую промывку по мере образования темно-серой воды в результате хозяйственной деятельности.

2.1. Физическое разделение серой воды на светло-серую и темно-серую воды

Как уже было отмечено выше, чистая питьевая вода попадает в категорию серой воды сразу же после ее попадания в сливную трубу раковины или ванны, при этом в 40 - 60% времени ее можно отнести к категории светло-серой воды. Исходя из этого, отделение светло-серой воды от темно-серой целесообразнее всего выполнить на самом раннем этапе ее попадания в систему слива.

Для этого предполагается в верхней зоне сливной трубы установить малоинерционные датчики, с помощью которых в режиме реального времени будет определяться показатель pH воды и ее мутность (прозрачность). Сигналы с этих датчиков будут направляться на блок обработки сигналов и выработки управляющего импульса, с помощью которого будет происходить перемещение переключающего (отсекающего) потока клапана. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 5.

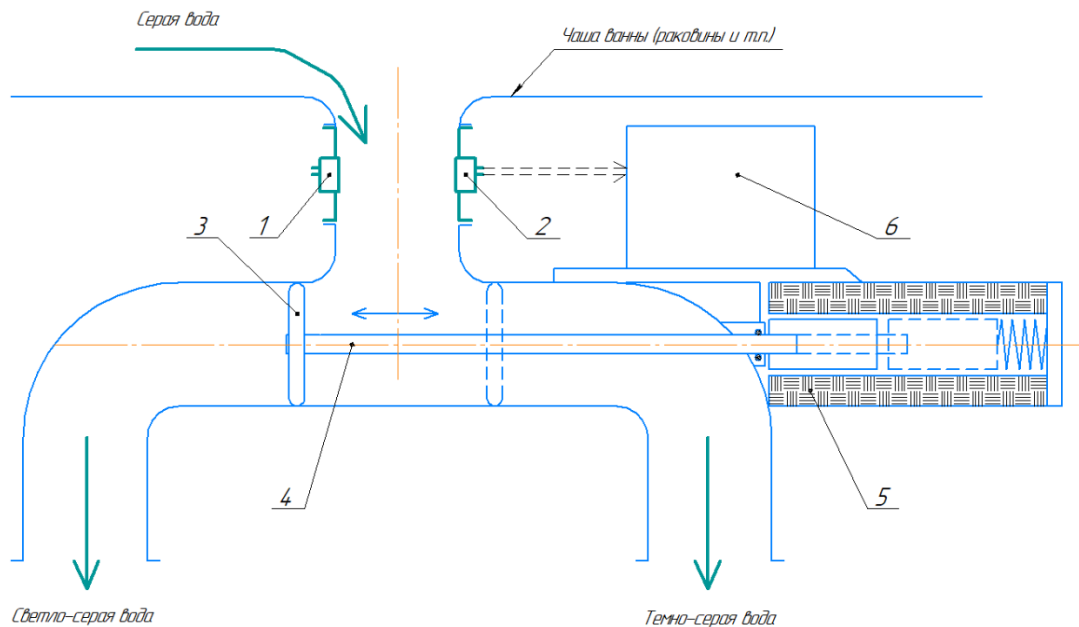


Рис. 5. Принципиальная схема системы механического разделения серой воды на светло-серую и темно-серую воды

где, 1 – pH датчик; 2 – датчик мутности воды; 3 – клапан; 4 – шток; 5 – устройство для перемещения штока; 6 – блок управления положением клапана

В качестве одного из вариантов привода для перемещения штока с отсекающим клапаном, см. рис. 5, может быть использован обычный соленоид, в котором втягивающийся якорь будет возвращаться в первоначальное положение с помощью пружины при снятии напряжения питания.

В другом варианте, можно воспользоваться соленоидом, в котором якорь может находиться в двух крайних устойчивых положениях. В этом случае отпадает необходимость в поддержании напряжения на его обмотке, а для его перемещения будет достаточно подать одиночный кратковременный управляющий импульс.

Из принципиальной схемы, представленной на рис. 5, видно, что таким образом можно получить два физически разделенных потока воды (светло-серую и темно-серую воду), каждый из которых потребует отводить по отдельному трубопроводу и направлять для соответствующего варианта повторного использования.

2.2. Пути оптимального использования разделенных потоков серой воды.

Предлагаемая структурная схема использования разделенных потоков серой воды на светло-серую и темно-серую воду показана на рис. 6.

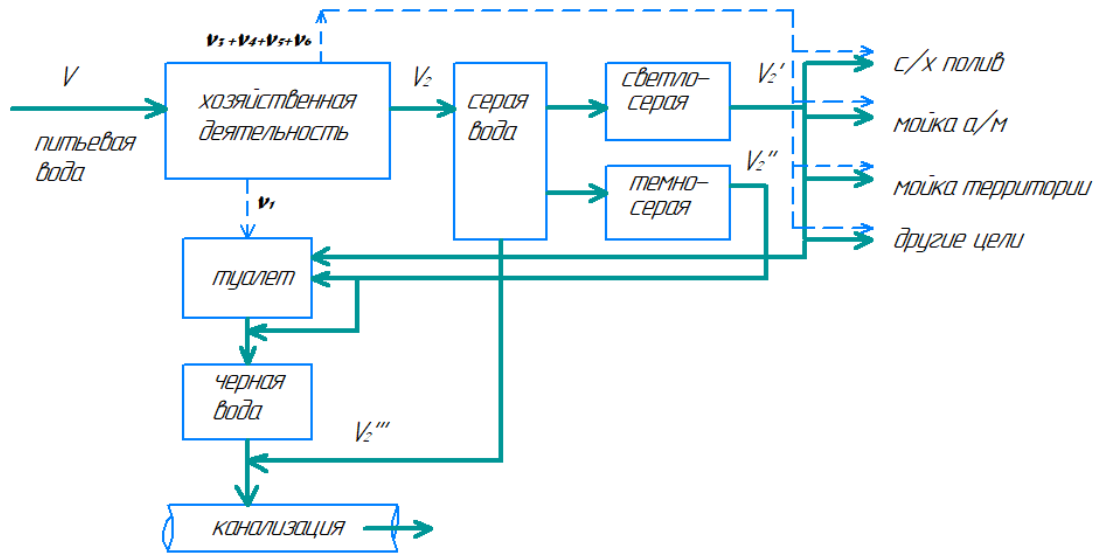


Рис. 6. Структурная схема использования потоков светло-серой и темно-серой воды

Как видно из схемы, представленной на рис. 6, в ней, в отличие от схемы рециклинга серой воды, представленной на рис. 3, отсутствует блок очистки воды так как при использовании устройства механического разделения потоков на светло-серый и темно-серый в нем отпадает необходимость, поскольку данная система не предполагает накопления и хранения такой воды.

В зависимости от периода года, количества жильцов и других факторов приоритетность направлений использования светло-серой воды может меняться. Например, в холодный период года при отсутствии необходимости в с/х поливе, такая вода может быть использована для промывки туалета и др. целей. В этом случае, вся отделенная темно-серая вода может сбрасываться непосредственно в систему канализации.

По нашим предварительным оценкам предлагаемая система физического разделения серой воды позволит повысить эффективность ее повторного использования и уменьшить общий объем подводимой чистой воды на 40 – 50 %.

Для подтверждения предварительных оценок необходимо провести длительный натурный эксперимент, например, в течение календарного года, переоборудовав систему канализации в реальном домохозяйстве по схеме, приведенной на рис. 6.

ВЫВОДЫ

Ощущающиеся уже сегодня проблемы нехватки чистой пресной воды будут подталкивать человечество к дальнейшему поиску путей повторного использования бытовых серых вод.

Одна из целей данной работы – указать на принципиальную возможность простого физического разделения потока серой воды на темно-серую и светло-серую. При этом в работе показано, что т.н. светло-серую воду можно использовать напрямую, без проведения сложных и дорогостоящих мероприятий по ее очистке и подготовке к дальнейшему безопасному использованию, например в системах полива, что чрезвычайно актуально для многих засушливых регионов мира, в том числе и для Крыма.

Оставшаяся часть темно-серой воды также может быть использована для «непрерывной» промывки туалета и, соответственно, обеспечении нормальной транспортировки черной воды в системе канализации. В этом случае также отпадает необходимость в ее накоплении, хранении, и дорогостоящей очистке.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Представленная в работе принципиальная схема устройства, позволяющего физически разделять «серую воду» на две фракции - светло-серую и темно-серую требует изготовление действующего макета устройства. Направление дальнейших исследований будет направлено на разработку специальных датчиков, способных определять показатели мутности «серой воды» и ее РН. С помощью действующего макета устройства необходимо определить и оптимизировать геометрические размеры клапана и его гидравлические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Greywater Reuse System Design and Economic Analysis for Residential Buildings in Taiwan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mdpi.com/2073-4441/8/11/546> (дата обращения 22. 12. 2024)
2. Серая вода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0 (дата обращения 22. 12. 2024)
3. Очистка «серой» воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aosmithwtprojects.com/ru/%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B9-%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8B/>(дата обращения 24. 12. 2024)
4. Повторное использование серых вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vatekcevre.com/ru-ru/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3/%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%8B%D1%85-%D0%B2%D0%BE%D0%B4> (дата обращения 22. 12. 2024)
5. Энергия серых вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.asio.cz/ru/p/81.energiya-serykh-vod> (дата обращения 22. 12. 2024)
6. Повторное использование серой воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.appropedia.org/Greywater_reuse/ru (дата обращения 24. 12. 2024)
7. Яковлев, С.В. Канализация: (Водоотведение и очистка сточных вод) [Текст] / С.В. Яковлев, Ю.М. Ласков. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с.: ил.
8. СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: : издание официальное :утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021: введен 29.01.2021.
9. ГОСТ Р 51232 – 98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества : Государственный стандарт Российской Федерации :издание официальное : введен впервые : введен 1999-07-01. – М.: ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ", 2010. – 18 с.
10. Расход воды на человека в сутки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autopluss.ru/raskhod-vody-na-cheloveka-v-sutki> (дата обращения 24. 12. 2024)
11. Норма потребления воды на человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.montage-msk.ru/polezna-informacia/norma-potrebleniya-vody-na-cheloveka/> (дата обращения 24. 12. 2024)
12. СП 30.13330.2020. Свод правил. Внутренний водопровод и канализация зданий.: актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*: утвержден Минстроем России 30.12.2020 № 920/пр : введен 30.12.2020. – Москва: Минстрой России, 2020. – 131 с.

13. Норма расхода потребления горячей и холодной воды на человека в месяц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pulsarm.ru/stati/norma-raskhoda-potrebleniya-goryachey-i-kholodnoy-vody-na-cheloveka-v-mesyats/> (дата обращения 26. 12. 2024)

ON THE POSSIBILITY OF SAFE UTILIZATION OF PARTIALLY TREATED "GRAYWATER"

Odintsov A.N.

FGAOU VO Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Annotation. The article is dedicated to the continued improvement of approaches related to the feasibility and advisability of greywater re-usage. The main scope of this work is to outline the one of the methods for direct usage of a portion of greywater with no need of preliminary treatment or re-processing. The paper presents a conceptual design of a device that physically separates greywater into two fractions – i.e. "light greywater" and "dark greywater". It is shown that a significant portion of the light greywater is virtually uncontaminated and can be used directly, without any need for complex and costly purification processes, e.g. in irrigation systems.

Keywords: drinking water, blackwater, graywater, reuse.

УДК 504.064.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОЗАЩИТНОЙ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ

Иванова Ю.П.¹, Добринская А.А.², Иванова О.О.³, Кленин И.С.⁴, Зимницкая А.О.⁵, Мензелинцева Н.В.⁶

^{1,2,3,4,5} Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28;

⁶ Волгоградский государственный университет
400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100

e-mail: ¹ypi26@mail.ru, ²sax.nastya@yandex.ru, ³dokuch26@mail.ru, ⁴kleninivan01@mail.ru,
⁵ivanova200607@mail.ru, ⁶menzelintseva@volsu.ru

Аннотация. В условиях роста урбанизации, увеличения промышленных выбросов проблема пылевого загрязнения воздушной среды городов приобретает особую актуальность. Мелкодисперсные частицы пыли представляют значительную угрозу здоровью человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Газозащитные зеленые зоны – специально спроектированные насаждения – представляют собой сочетание биологических и инженерных подходов к снижению концентрации взвешенных веществ. В статье рассмотрено влияние газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава пыли. В статье представлен анализ дисперсного состава пыли, включая распределение частиц по фракциям. Приведено распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны, с помощью обработки фотографий частиц пыли программой SpotExplorer.

Цель. Изучить влияния газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава атмосферной пыли, а также подтверждения данных о том, что они не только выполняет функцию естественного фильтра, снижая концентрацию, но и изменяют дисперсный состав частиц пыли.

Методы. Отобранные пробы подвергались лабораторному анализу с использованием оптического микроскопа CarlZeissAxio Scope.A1, оснащённого цифровой камерой высокого разрешения, и специализированного программного обеспечения SpotExplorer (версия 2.3).

Результаты. Проведенные исследования показали, что при прохождении газозащитной зеленой зоны изменяется дисперсный состав пыли. Уменьшается объемная доля крупных частиц. Большая часть мелких частиц PM₁₀ и PM_{2,5} проходит через газозащитную зеленую зону, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в направлении изучения механизма улавливания мелких частиц зелеными насаждениями.

Ключевые слова: газозащитные зеленые зоны, мелкодисперсная пыль, воздушные потоки, транспортные магистрали, древесно-кустарниковые насаждения, экранирование.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения атмосферы пылевыми частицами, образующимися в результате антропогенной деятельности человека, остается одним из ключевых экологических и общественных вызовов современности [1]. Пыль, особенно мелкодисперсная фракция (PM₁₀ и PM_{2,5}), представляет значительную угрозу для здоровья человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также оказывая негативное воздействие на экосистемы [2-4]. В условиях урбанизированных территорий с выраженными промышленными зонами, транспортными магистралями, где концентрация пылевых выбросов достигает критических значений, актуальным становится поиск эффективных природоохранных решений, способных минимизировать загрязнение атмосферы, в том числе мелкодисперсными частицами.

Одним из перспективных подходов к снижению пылевого загрязнения является создание газозащитных зеленых зон – специально спроектированных насаждений, выполняющих барьерную и фильтрующую функции [5]. Газозащитные зеленые зоны, благодаря своим биофизическим свойствам, способны улавливать пылевые частицы, изменять аэродинамические характеристики воздушных потоков и способствовать осаждению взвешенных веществ. Однако влияние таких зон на изменение дисперсного состава пыли, включающей частицы различных фракций, остается недостаточно изученным, что определяет необходимость проведения целенаправленных исследований в данной области [6].

Настоящая статья посвящена исследованию эффективности газозащитных зеленых зон как специфического инструмента управления качеством атмосферного воздуха. Особое внимание

уделяется анализу изменений дисперсного состава пыли под воздействием растительных барьеров, включая изучение распределения частиц по размерам.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследования, непосредственно посвященные влиянию газозащитных зеленых зон на дисперсный состав пыли, ограничены. Однако накопленные в результате проведенных различными авторами исследований данные подтверждают, что зеленые зоны могут эффективно снижать концентрацию пыли, особенно крупных фракций (PM_{10} и выше), за счет осаждения частиц на листьях и стволах растений [1-12]. В то же время, эффективность улавливания мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$ и менее) газозащитными зелеными зонами требует детального изучения. Для более точной оценки необходимы комплексные исследования с применением современных методов и средств анализа, таких как микроскопия и аэрозольные спектрометры соответственно. Это позволит изучить закономерности процесса, на основании которых разработать рекомендации по формированию газозащитных зеленых зон [8-10].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью работы являлось изучение влияния газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава атмосферной пыли, а также подтверждения данных о том, что они не только выполняет функцию естественного фильтра, снижая концентрацию, но и изменяют дисперсный состав частиц пыли.

Задачей исследования является изучение изменения дисперсного состава пылевых частиц при прохождении через газозащитную зеленую зону.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Газозащитные зеленые зоны, состоящие из древесно-кустарниковых насаждений, рассматриваются как эффективный инструмент экологической инженерии, способный минимизировать распространение аэрозольных загрязнителей [11, 12]. Растения, как известно, создают аэродинамические барьеры на пути движения воздушных потоков, тем самым снижают их скорость, что способствует процессам оседания частиц на поверхность листьев, стеблей, хвои. Предполагается, что растения могут существенно изменять дисперсный состав пыли, преимущественно задерживая более крупные частицы (PM_{10} и выше), в то время как более мелкие фракции ($PM_{2.5}$ и ниже) могут частично проникать через растительный барьер [13-15].

Автомобильные дороги, как источники аэрозольных частиц, генерируют значительное количество пыли, включающей как минеральные, так и органические компоненты, а также микрочастицы, образующиеся в результате износа шин, тормозных колодок и дорожного покрытия. В рамках настоящего исследования, проведенного в теплое время года (с мая по сентябрь 2024 года), на территории Ворошиловского района г. Волгограда по ул. Калинина был осуществлён отбор проб пыли с горизонтальных поверхностей в двух зонах: непосредственно перед газозащитной зеленой зоной, расположенной вблизи автомобильной дороги с интенсивным движением, и за ней.

Отбор проб пыли проводился с использованием стандартизированных методов, включающих сбор осажённой пыли с горизонтальных поверхностей в двух зонах: на расстоянии 1–2 метров перед зеленой зоной (вблизи обочины дороги) и на расстоянии 5–10 метров за ней (рис. 1). Для обеспечения репрезентативности данных отбор проб осуществлялся в течение нескольких дней с учётом метеорологических условий, таких как скорость и направление ветра, влажность воздуха и отсутствие осадков, которые могли бы повлиять на распределение пыли [17]. Отобранные пробы подвергались лабораторному анализу с использованием оптического микроскопа CarlZeissAxio Scope.A1, оснащённого цифровой камерой высокого разрешения, и специализированного программного обеспечения SpotExplorer (версия 2.3).

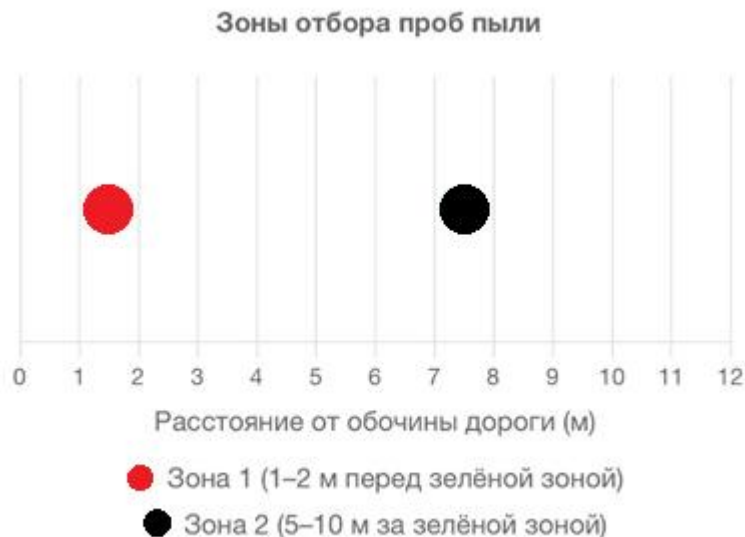


Рис. 1. Схема расположения зон отбора проб пыли относительно обочины дороги

Данный подход позволил получить детализированные изображения частиц пыли (рис. 2), которые использовались для анализа их морфологии, размеров.

Анализ с помощью оптического микроскопа и программы SpotExplorer обеспечил высокую точность в определении дисперсного состава пыли, включая распределение частиц по фракциям (от PM_{10} до PM_{100}). Программа SpotExplorer автоматически классифицировала частицы по их размеру, форме и оптическим характеристикам, что позволило выделить ключевые различия в дисперсном составе пыли до и после прохождения через зеленую зону.

Например, анализ фотографий, приведенных на рис.2 и 3 показал, что перед газозащитной зеленой зоной в пробе преобладают частицы размером 10–50 мкм, тогда как доля таких частиц в пробе существенно снижается, что подтверждает фильтрующую функцию зеленой зоны. Кроме того, были отмечены различия в форме частиц: в пробах, отобранных перед газозащитной зеленой зоной, чаще встречались угловатые частицы [18-21].



Рис. 2. Фотография частиц пыли в пробе, отобранной до газозащитной зеленой зоны



Рис. 3. Фотография частиц пыли в пробе, отобранной после газозащитной зеленой зоны

На рис.4 приведено распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны, с помощью обработки фотографий частиц пыли программой SpotExplorer.

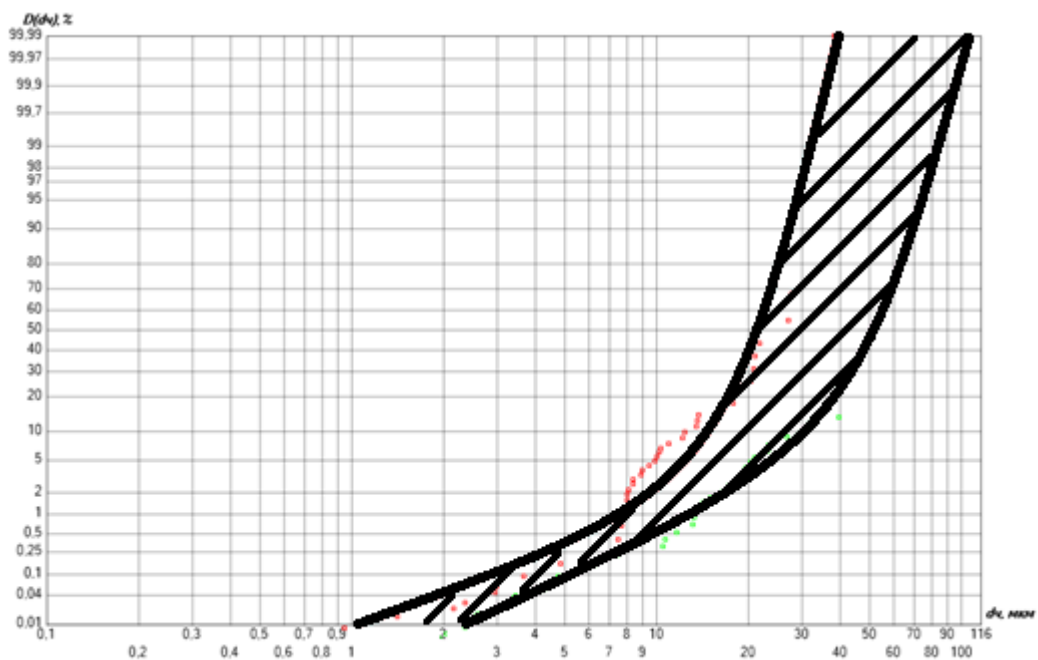


Рис. 4. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны

Анализ рис. 4 позволил установить диапазон изменения размеров частиц от самых мелких 1,1 мкм до самых крупных 105 мкм. Медианный диаметр составляет $m_d = 35$ мкм.

Анализ рис.5, показывает, что размеры частиц, содержащихся в пробе, отобранной после газозащитной зеленой зоны, изменяются в диапазоне от 1,1 мкм до 45 мкм. Медианный диаметр составляет $m_d = 18$ мкм.

Проведенные анализ показал, что в пробах воздуха, отобранных перед зелеными насаждениями, преобладают крупные частицы.

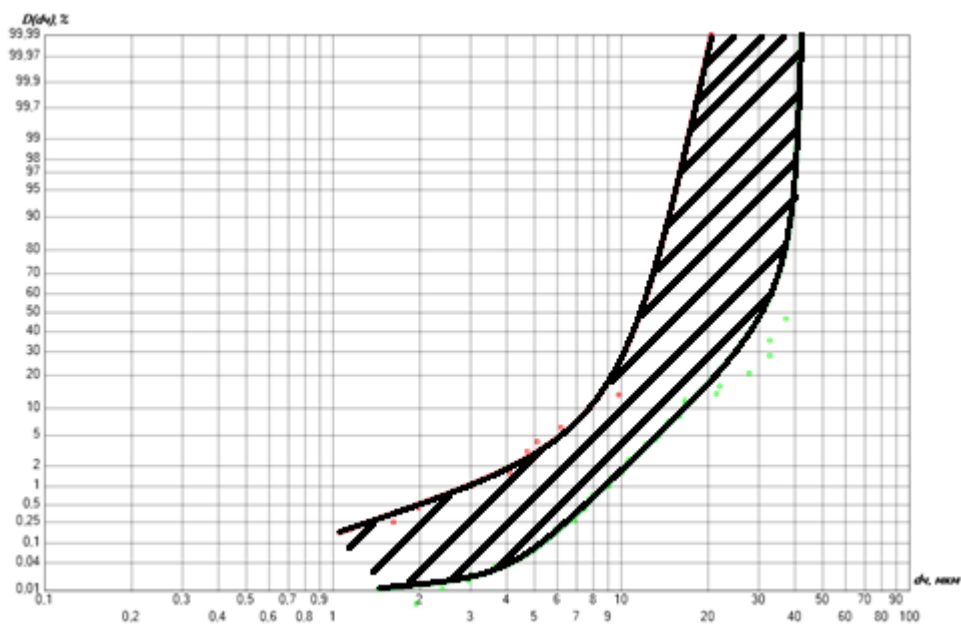


Рис. 5. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной после газозащитной зеленой зоны

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что при прохождении газозащитной зеленой зоны изменяется дисперсный состав пыли. Уменьшается объемная доля крупных частиц. Большая часть мелких частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ проходит через газозащитную зеленую зону, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в направлении изучения механизма улавливания мелких частиц зелеными насаждениями.

2. Применение результатов: полученные результаты могут быть использованы как основа для разработки методических рекомендации по организации и благоустройству зеленых зон.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе выводов, представленных в статье, можно выделить следующие направления для дальнейших исследований, направленных на углубление понимания влияния газозащитных зеленых зон на дисперсный состав пыли и повышение их эффективности как экологического барьера:

- анализ влияния морфологических характеристик растений (например, шероховатости листьев, плотности кроны, наличия ворсинок);
- исследование влияния состава газозащитной зеленой зоны на изменение дисперсного состава пыли;
- оценку влияния сезонных изменений (листопад, влажность листьев) на фильтрующую способность газозащитных зеленых зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренин, Н.С. К оценке выбросов автотранспорта в атмосферу и загрязнения воздуха вблизи автомагистралей [Текст] / Н.С. Буренин, Р.И. Оникул, И.И. Соломатина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 1997. – № 436. – С. 102.

2. Ветрова, Н.М. Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства / Н.М. Ветрова, Т.В. Вереха, Э.Э. Меннанов, Д.В. Судьева // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 1-2(82-83). – С. 145-151.

3. Сидельникова, О.П. Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов / О.П. Сидельникова, Ю.П. Иванова, О.О. Иванова, А.А. Сахарова, Р.А. Лясин, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 7 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7882>.
4. Николенко, Д.А. О влиянии градостроительных решений и зеленых газозащитных зон на качество воздушной среды примыкающих территорий / Д.А. Николенко, А.Н. Васильев, Ю.П. Иванова, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, В.Н. Азаров, А.А. Чернущенко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2. – 10 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441>.
5. Иванова, Ю.П. Основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на придорожных территориях линейного города / Ю.П. Иванова, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, Д.М. Лепехина, О.П. Сидельникова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8. – 8 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7874>.
6. Иванова, Ю.П. Проверка применимости закона распределения мелкодисперсной пыли для различных категорий дорог / Ю.П. Иванова, Е.О. Брызгина, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 11 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7885>.
7. Зайцева, Н.В. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников / Н. В. Зайцева, И. В. Май, А. А. Макс, С. Ю. Загороднов // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 5. – С. 19-23.
8. Kokoulin, A.N. Multiscale Optical PM2.5 Particles Recognition and Sorting System in Dust Probes / A.N. Kokoulin, A.A. Yuzhakov, R.A. Kokoulin // 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Croatia, 2020, – pp. 1–6. DOI: 10.23919/SpliTech49282.2020.9243759
9. Cohen, A.J. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 / A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnett, et al. // TheLancet, 2017. – Vol. 389, Issue 10082. – pp. 1907–1918. DOI: 10.1016 S0140-6736(17)30505-6
10. Шелмаков, С. В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте / С. В. Шелмаков, Ю. В. Трофименко, А. В. Лобиков. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-7962-0235-7.
11. Растяпина, О. А. Совершенствование методов проектирования городских газозащитных зеленых зон от выбросов автотранспорта [Текст] :дис. ... канд. техн. наук / Растяпина О. А. — Волгоград, 2003.
12. Полковникова, Л. С. Влияние дендрологического состава зеленых насаждений на оптимизацию городской среды [Текст] / Л. С. Полковникова, Ю. П. Иванова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительствоархитектура. – 2009. – Вып. 15 (34). – С. 206-209. – Библиогр.: с. 209 (3 назв.)
13. Barikayeva, N. About Forecasting Air Pollution in the Construction of Highways / N. Barikayeva, D. Nikolenko, J. Ivanova // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042016/pdf.
14. Semerjian, L.; Okaiyeto, K.; Ojemaye, M.O.; Ekundayo, T.C.; Igwaran, A.; Okoh A.I. Global Systematic Mapping of Road Dust Research From 1906 to 2020: Research Gaps and Future Direction. Sustainability 2021, 13, 11516. URL: doi.org/10.3390/su132011516.
15. Аксенов, И.Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И.Я. Аксенов, В.И. Аксенов. – М.: Транспорт, 2012. – 175 с.
16. Шеина, С.Г., Совершенствование методов организационно-технологического проектирования при реконструкции городской застройки с учетом экологических факторов / С.Г. Шеина, Л.В. Гиря // Инженерный вестник Дона, 2011. – №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/703.
17. Mokhtari, M. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM10, PM2.5 and SO2 in Yazd, Iran / M. Mokhtari, M. Miri, A. Mohammadi, H. Khorsandi, Y. Hajizadeh, A. Abdolhnejad // Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 2015. – pp. 14–23. DOI: 10.1080/10807039.2018.1487277
18. Азаров, В. Н. Дисперсный анализ методом микроскопии с применением ПЭВМ / В. Н. Азаров, А. В. Ковалева, Н. М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и

теплоэнергетических комплексов : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 18–20 мая 1999 года. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 1999. – С. 76-78.

19. Hygienic Assessment of PM10 and PM2.5 Contents in the Atmosphere and Population Health Risk in Zones Influenced by Emissions from Stationary Sources Located at Industrial Enterprises / I.A. Prosviryakova, L.M. Shevchuk // Health Risk Analysis, 2018. – Vol. 2. – pp. 14–22. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.02

20. Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Sommer H. Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment. / N. Künzli, R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, H. Sommer // The Lancet, 2000 – Vol. 356, Issue 9232. – pp. 795–801. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2

21. Chen G., Li S., Zhang Y., Zhang W., Li D., Wei X., He Y., Bell M.L., Williams G., Marks G.B., Jalaludin B., Abramson M.J., Guo Y. Effects of Ambient PM1.0 and PM2.5 on Lung Function Among Children in China: A Panel Study. Environmental Health Perspectives, 2018. – Vol. 126, Issue 7. – pp. 077002. DOI: 10.1289/EHP2757

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A GAS-PROTECTED GREEN ZONE ON THE DISPERSED COMPOSITION OF DUST

¹Ivanova Yu.P., ²Dobrinskaya A.A., ³Ivanova O.O., ⁴Klenin I.S., ⁵Zimnitskaya A.O.,
⁶Menzelintseva N.V.

^{1,2,3,4,5} Volgograd State Technical University

⁶ Volgograd State University

Annotation. In the context of growing urbanization and increasing industrial emissions, the problem of dust pollution in urban air has become particularly relevant. Fine dust particles pose a significant threat to human health, contributing to the development of respiratory and cardiovascular diseases. Gas-protective green zones, which are specially designed plantations, represent a combination of biological and engineering approaches to reducing the concentration of suspended particles. This article explores the impact of gas-protective green zones on the dispersion of dust. It presents an analysis of the dispersion of dust, including the distribution of particles by size. The distribution of the volume fraction of particles by their diameter, obtained by analyzing a sample taken before the gas-protective green zone, using the SpotExplorer program to process photographs of dust particles.

Key words: gas-protective green zones, fine dust, air currents, transport routes, tree and shrub plantations, and shielding.

УДК 628.511.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДОРОГ ГОРОДСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Азаров В.Н.¹, Иванова Ю.П.², Иванова О.О.³, Добринская А.А.⁴, Соловьева Т.В.⁵
Евдокимов Е.Е.⁶, Зимницкая А.О.⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28; e-mail: ¹azarovpubl@mail.ru, ²ypi26@mail.ru, ³dokuch26@mail.ru,
⁴sax.nastya@yandex.ru, ⁵tatianasolovyova2010@yandex.ru, ⁶smat_b101@rambler.ru, ⁷ivanova200607@mail.ru

Аннотация. В статье представлено комплексное исследование влияния факторов, определяющих концентрацию и распространение мелкодисперсной пыли (частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм, PM₁₀, и менее 2.5 мкм, PM_{2.5}) на дорогах городского значения, с акцентом на примагистральные территории. Рассмотрены десять ключевых факторов, влияющих на формирование, перенос и осаждение мелкодисперсной пыли, включая метеорологические условия (скорость и направление ветра, влажность, температура), интенсивность транспортного потока, типы транспортных средств. В работе проанализированы концентрации мелкодисперсной пыли в атмосфере вблизи дорог городского значения. Представлен перечень дендрологического состава, используемого при озеленении на примагистральных территориях города.

Цель. Исследовать зависимость концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}, PM₁₀) в атмосферном воздухе примагистральных территорий дорог городского значения от ряда факторов включающих в себя как метеорологические параметры, так и параметры дорожно-транспортной сети (продольный уклон, интенсивность транспортного потока и т.д.).

Методы. Для определения концентрации мелкодисперсной пыли PM_{2.5}, PM₁₀ проводились экспериментальные исследования на примагистральных территориях дорог городского значения. С обработкой полученных параметров по программе STATISTIKA 10.

Результаты. Учет метеорологических факторов, таких как скорость и направление ветра, позволяет прогнозировать периоды повышенного загрязнения и разрабатывать адаптивные меры, например, временные ограничения движения грузового транспорт.

Ключевые слова: линейный город, автомобильный транспорт, загрязняющие вещества, мелкодисперсная пыль, дендрологический состав, примагистральные территории.

ВВЕДЕНИЕ

Мелкодисперсная пыль (PM₁₀ и PM_{2.5}) является одним из ключевых загрязнителей атмосферного воздуха в городских условиях, оказывая значительное воздействие на здоровье населения, экологическую устойчивость и качество городской среды [1]. Магистрали городского значения, характеризующиеся высокой интенсивностью транспортного потока и сложной структурой прилегающих территорий, выступают важными источниками эмиссии мелкодисперсной пыли [2, 3]. Формирование, перенос и осаждение таких частиц зависят от множества факторов, включая метеорологические условия, характеристики дорожного покрытия, типы используемых транспортных средств, а также особенности городской инфраструктуры и антропогенной деятельности [4, 5]. Несмотря на значимость проблемы, комплексные исследования, охватывающие взаимодействие различных факторов, влияющих на концентрацию мелкодисперсной пыли вблизи дорог городского значения, остаются недостаточно представленными в научной литературе.

Настоящая статья посвящена анализу влияния ключевых факторов, определяющих уровень загрязнения мелкодисперсной пылью на примагистральных территориях. Основное внимание уделено оценке концентраций мелкодисперсных фракций PM₁₀ и PM_{2.5} в воздушной среде примагистральных территорий, их пространственно-временной динамике и взаимосвязям с факторами окружающей среды и урбанистическими характеристиками. Исследование базируется на сочетании натуральных измерений, математического моделирования и статистического анализа, что позволяет выявить основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсных частиц в воздухе примагистральных территорий, и предложить научно обоснованные рекомендации по ее минимизации. Результаты работы направлены на разработку эффективных мер по улучшению качества воздуха в городах, что имеет особое значение для обеспечения экологической безопасности урбанизированной территории и здоровья населения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Проведенный обзор научной литературы, включающий работы российских и зарубежных авторов, посвященных влиянию выбросов автотранспорта на экологическую обстановку городских территорий, а также результаты гигиенических исследований их воздействия на здоровье человека, позволил выделить мелкодисперсную пыль (частицы с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм — PM_{10} и менее 2.5 мкм — $PM_{2.5}$) как один из ключевых негативных факторов антропогенного происхождения. Мелкодисперсная пыль, формируемая в результате выбросов автотранспорта, представляет собой регулируемый фактор загрязнения атмосферного воздуха, который оказывает значительное влияние на качество городской среды и здоровье населения [6-8].

Автотранспорт является одним из основных источников эмиссии мелкодисперсной пыли в городах, где интенсивное движение, особенно на магистралях городского значения, способствует генерации частиц как непосредственно из выхлопных газов, так и в результате истирания дорожного покрытия, шин и тормозных систем [9]. Кроме того, вторичные процессы, такие как например ресуспензия пыли с дорожного полотна под воздействием воздушных потоков от движущихся транспортных средств, существенно увеличивают концентрацию PM_{10} и $PM_{2.5}$ в примагистральных зонах [10]. Многочисленные исследования, проведенные в России и за рубежом, подчеркивают, что мелкодисперсная пыль обладает высокой проникающей способностью, оседая в дыхательных путях и легких человека, что приводит к развитию респираторных, сердечно-сосудистых и других заболеваний, включая хронические патологии и онкологические процессы. Особую опасность представляют частицы $PM_{2.5}$, которые способны проникать в альвеолы и кровоток, вызывая системные воспалительные реакции [11].

В рамках анализа работ российских исследователей [1-11, 16] подчеркивается значимость локальных метеорологических факторов (скорость и направление ветра, влажность, температура) и особенностей городской застройки, влияющих на дисперсию и осаждение мелкодисперсной пыли. Зарубежные исследования [12-15], в свою очередь, акцентируют внимание на роли технологических характеристик автотранспорта, включая тип двигателя (дизельный, бензиновый, электрический) и состав топлива, а также эффективности систем фильтрации выхлопных газов. Гигиенические исследования подтверждают корреляцию между повышенными концентрациями PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе и увеличением заболеваемости среди населения, особенно в группах риска, таких как дети, пожилые люди и лица с хроническими заболеваниями дыхательной системы [7, 12].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является комплексный анализ зависимости концентраций мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$, PM_{10}) и в атмосферном воздухе примагистральных территорий дорог городского значения от ключевых факторов, включая продольный уклон дорожного полотна, интенсивность транспортного потока, метеорологические условия. Результаты работы призваны способствовать совершенствованию стратегий управления качеством воздуха, оптимизации транспортной инфраструктуры и минимизации антропогенного загрязнения в урбанизированных территориях.

Для достижения поставленной цели в рамках исследования решаются следующие задачи:

1. Сбор и анализ данных о концентрациях мелкодисперсных фракций пыли:
 - Провести измерения концентраций частиц $PM_{2.5}$, PM_{10} на выбранных участках дорог городского значения с использованием высокоточных методов мониторинга
2. Изучение влияния основных факторов:
 - Исследовать зависимость концентраций частиц $PM_{2.5}$, PM_{10} в воздухе примагистральных территорий от основных факторов: L — длина участка дороги (км); J_1 — интенсивность движения легковых автомобилей (авт/час); J_2 — интенсивность движения грузовых автомобилей (авт/час); V_a — средняя скорость движения транспортного потока (км/час); α — продольный уклон проезжей части (градусы); φ — относительная влажность воздуха (%); t — температура воздуха ($^{\circ}C$); V_v — скорость ветра (м/с); θ — угол направления ветра относительно дороги (градусы); Q — атмосферное давление (мм рт. ст.).

◦ Оценить вклад каждого фактора в формирование концентраций пыли, используя статистические методы (множественный регрессионный анализ, корреляционный анализ).

Решение поставленных задач позволит не только углубить понимание механизмов распространения мелкодисперсной пыли в условиях городской среды, но и создать основу для

разработки эффективных мер по снижению антропогенного воздействия на экосистемы и здоровье населения, способствуя повышению экологической безопасности и качества жизни в городах.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В рамках исследования была проведена всесторонняя оценка зависимости концентраций мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$, mg/m^3 , PM_{10} , mg/m^3) в воздухе прилегающих территорий от ключевых факторов, определяющих уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи дорог городского значения. Исходные данные собраны в ходе натурных исследований, в рамках которых в 8 районах Волгограда на прилегающих территориях было отобрано 95 точек для измерения концентрации мелкодисперсной пыли. Количество точек для замеров определено для обеспечения доверительной вероятности $\alpha=0,05$, что потребовало проведения измерений в 95 мониторинговых точках с трехкратным повторением контрольных замеров [13].

В статье рассматриваются магистрали городского значения, включая улицы Рокоссовского, проспекты Ленина, Жукова, Университетский, Рабоче-Крестьянскую, Лазоревую, Череповецкую, проспект Героев Сталинграда, Третью Продольную и другие. Селитебные территории вдоль этих улиц преимущественно застроены жилыми домами высотой 5–9 этажей, а также включают частный сектор. Дорожное покрытие выполнено из асфальта. Газозащитные зеленые зоны (ГЗЗ) сформированы одно-четырёхрядными посадками деревьев и кустарников, преимущественно включающих такие виды, как тополь пирамидальный, тополь Болле, тополь бальзамический, вяз, клен раскидистый, клен канадский, акация белая, сирень, каштан конский, бирючина обыкновенная, дуб черенчатый, реже встречаются хвойные породы древесно-кустарниковой растительности [14]. Диапазон изменения параметров представлен в табл. 1.

Указанные факторы включают как характеристики транспортной инфраструктуры и интенсивности движения, так и метеорологические параметры, оказывающие влияние на формирование, дисперсию и осаждение пылевых частиц [15–17]. Рассмотренные факторы включают:

1. L — длина участка дороги, км: Длина исследуемого участка дороги является важным параметром, определяющим протяженность зоны воздействия транспортных выбросов. Более длинные участки могут способствовать накоплению пыли в прилегающих зонах, особенно в условиях ограниченной вентиляции, например, в городских каньонах.

2. J_1 — интенсивность движения легковых автомобилей, авт/час: Интенсивность потока легковых автомобилей существенно влияет на эмиссию мелкодисперсной пыли, особенно $PM_{2.5}$, за счет выхлопных газов и истирания шин. Высокая плотность движения легкового транспорта коррелирует с увеличением концентрации частиц в воздухе.

3. J_2 — интенсивность движения грузовых автомобилей, авт/час: Грузовые автомобили, особенно с дизельными двигателями, являются значительным источником $PM_{2.5}$ и PM_{10} , так как их выхлопные газы содержат большое количество ультрамелких частиц, а износ шин и тормозных систем усиливает пылеобразование.

4. V_a — средняя скорость движения транспортного потока, км/час: Скорость движения влияет на ресуспензию пыли с дорожного покрытия и турбулентные потоки, создаваемые движением транспорта. Более высокие скорости могут усиливать поднятие пыли в воздух, тогда как низкие скорости, характерные для пробок, увеличивают концентрацию выхлопных частиц.

5. α — продольный уклон проезжей части, градусы: Уклон дороги влияет на режим работы двигателей транспортных средств. На подъемах возрастает нагрузка на двигатель, что увеличивает выбросы мелкодисперсной пыли, особенно от грузовых автомобилей.

6. ϕ — относительная влажность воздуха, %: Влажность воздуха играет ключевую роль в процессах осаждения пыли. Высокая влажность способствует агломерации частиц, что может снижать концентрацию $PM_{2.5}$ и PM_{10} в воздухе за счет их осаждения, тогда как низкая влажность усиливает ресуспензию пыли.

7. t — температура воздуха, °C: Температура влияет на физико-химические процессы в атмосфере, включая образование вторичных аэрозолей, которые составляют значительную долю $PM_{2.5}$. Высокие температуры могут усиливать фотохимические реакции, увеличивая концентрацию мелкодисперсной пыли.

8. V_v — скорость ветра, м/с: Скорость ветра определяет интенсивность дисперсии пылевых частиц. Сильный ветер способствует рассеиванию $PM_{2.5}$ и PM_{10} , снижая их концентрацию вблизи дороги, тогда как слабый ветер или штиль приводит к накоплению загрязнителей.

9. θ — угол направления ветра относительно дороги, градусы: Направление ветра относительно оси дороги влияет на траекторию переноса пыли. Перпендикулярный ветер может эффективно выносить частицы из зоны дороги, тогда как параллельный ветер способствует их концентрации вдоль трассы.

10. Q — атмосферное давление, мм рт. ст.: Давление влияет на плотность воздуха и, как следствие, на динамику осаждения и переноса пылевых частиц. Низкое давление, характерное для циклонов, может усиливать турбулентность и перемешивание воздуха, увеличивая концентрацию $PM_{2.5}$ и PM_{10} в приземном слое.

Для анализа зависимостей была применена модель множественной линейной регрессии, которая позволила количественно описать влияние каждого из факторов на концентрации мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Выбор линейной регрессии был обусловлен предварительным анализом данных, который показал, что зависимости между исследуемыми переменными в большинстве случаев носят линейный характер, что делает данную модель подходящей для описания наблюдаемых закономерностей [18, 19].

Таблица 1.
Таблица для нормирования значений факторов (дороги городского значения)

Фактор	Диапазон изменений	Интервал варьирования Δx	Середина диапазона x_{cp}
L — длина участка, км;	0,30-0,60	0,15	0,45
J_1 — интенсивность легковых автомобилей, авт/час;	1500-2500	500	2000
J_2 — интенсивность грузовых автомобилей, авт/час;	300-1200	450	750
V_a — средняя скорость движения транспортного потока, км/час;	40-60	10	50
α — продольный уклон проезжей части, градусы;	2-4	1	3
φ — относительная влажность воздуха, %;	20-45	12,5	32,5
t — температура воздуха, $^{\circ}C$;	25-32	3,5	28,5
V_v — скорость ветра, м/с;	3-8	2,5	5,5
θ — угол направления ветра к дороге, в градусах;	35-90	27,5	62,5
Q — атмосферное давление, мм. рт. ст.;	742-752	5	747
$PM_{2.5}$ — концентрация пыли, mg/m^3 ;	11,3-19,5	4,1	15,4
PM_{10} — концентрация пыли, mg/m^3 ;	53,6-148,9	47,65	101,25
$P_{сум}$ — суммарная концентрация взвешенных твердых частиц, mg/m^3 .	76,1-183,8	53,85	129,95

Для проведения исследования зависимости концентраций частиц мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$, PM_{10}) в атмосферном воздухе приагостральных территорий дорог от десяти факторов была сформирована выборка, включающая 29 измерений. Объем выборки был определен на основе предварительного анализа, учитывающего вариабельность исследуемых параметров и требования к

статистической достоверности результатов. Измерения проводились на различных участках дорог городского значения, с учетом различий в интенсивности транспортного потока, уклона проезжей части и метеорологических условий, чтобы обеспечить репрезентативность данных. Все коэффициенты полученных уравнений регрессии были проверены на значимость с помощью *t*-критерия Стьюдента при уровне значимости, равном 0,05, а так же для каждого уравнения вычислен множественный коэффициент корреляции, характеризующий тесноту связи между зависимой переменной и всеми остальными факторами. Во всех уравнениях регрессии включены только значимые коэффициенты. Кроме того, проверялось общее качество каждого полученного уравнения регрессии. Оценка адекватности уравнений множественной регрессии осуществлялась на основе *F*-критерия Фишера при уровне значимости, равном 0,05. По каждой выборке рассчитывалось фактическое значение *F*-критерия, которое сравнивалось с критическим значением *F*-распределения. Результаты проверки показаны в табл. 2 для дорог городского значения. Полученные уравнения регрессии и соответствующие им коэффициенты корреляции указаны в табл. 3.

Таблица 2.
Проверка адекватности уравнения регрессии на основе *F*-критерия Фишера

Значение дорог	Концентрация пыли	Объем выборки	Фактическое значение <i>F</i> -критерия	Критическое значение <i>F</i> -распределения
Городского	PM _{2,5}	29	F(10,18) = 8,562	F _{кр} = 2,412
	PM ₁₀		F(10,18) = 10,179	
	P _{сум}		F(10,18) = 11,702	

Таблица 3.
Линейные уравнения регрессии для дорог городского значения (уравнения приведены в нормированных величинах)

Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции <i>R</i>
$Y_1 = 0,08458 + 0,007273x_4 - 0,004225x_5 + 0,00798x_{10} + 0,00263x_9 - 0,00306x_7$	0,89
$Y_2 = 0,347356 - 0,008987x_1 - 0,015524x_2 - 0,129003x_6 + 0,016027x_9$	0,92
$Y_3 = 0,282408 + 0,007803x_3 - 0,008889x_5 - 0,065825x_6 - 0,009822x_7$	0,86

ВЫВОДЫ

Таким образом, для дорог городского значения значимыми являются следующие факторы:

- для концентрации пыли PM_{2,5} — средняя скорость движения транспортного потока, продольный уклон проезжей части, атмосферное давление, температура воздуха;
- для концентрации пыли PM₁₀ — длина участка, интенсивность легковых автомобилей, относительная влажность воздуха, угол ветра к дороге;

Анализ результатов показал, что к основным влияющим факторам на концентрацию частиц PM_{2,5} в воздухе примагистральных территорий на бордюре проезжей части для дорог городского значения являются скорость ветра, давление, продольный уклон дороги. А для PM₁₀ более значимыми являются факторы, такими как интенсивность движения и длина участка дороги, а также влажность, влияющая на оседание твердых частиц или мелкодисперсной пыли.

Таким образом можно сделать вывод, что наиболее значимыми факторами из исследуемых, влияющих на концентрацию PM_{2,5} в атмосферном воздухе на бордюре проезжей части для дорог городского значения являются скорость ветра, атмосферное давление, продольный уклон дороги.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для управления качеством воздуха в городской среде. Учет метеорологических факторов, таких как скорость и направление ветра, позволяет прогнозировать периоды повышенного загрязнения и разрабатывать адаптивные меры, например, временные ограничения движения грузового транспорта.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для углубления понимания механизмов пылевого загрязнения рекомендуется расширить выборку измерений, включив дополнительные типы дорог и сезоны, а также провести анализ

химического состава частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} для выявления их источников. Кроме того, дальнейшие исследования могут быть направлены на моделирование взаимодействия факторов в условиях сложной городской застройки и разработку интегрированных систем мониторинга в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров, В.Н. Нормирование PM_{10} и $PM_{2.5}$ как социальный стандарт качества жизни в районах расположения предприятий стройиндустрии / В.Н. Азаров, И.В. Тертишников, Н.А. Маринин // Жилищное строительство. – 2012. – № 3. – С. 20-23.
2. Азаров, В.Н. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов / В.Н. Азаров, С.А. Кошкарёв // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 43(62). – С. 161—174.
3. Макарова, Н.В., Трофимец, В.Я. Статистика в Excel: Учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
4. Иванова, Ю.П. Dispersion analysis of carbon monoxide concentrations in the cities atmospheric air / Ю. П. Иванова, Е. А. Соколова, В.Н. Азаров, Е.В. Мартынова // E3S Web of Conferences. – Vol. 138: International Scientific Conference
5. Ганжа, О.А., Иванова Ю. П. Оценка факторов антропогенного воздействия на экологическое состояние урбанизированных территорий / О.А. Ганжа, Ю.П. Иванова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. – 2012. – Вып. 27(46). – С. 187—189.
6. Азаров, В.Н. Исследование скорости оседания кремниевой пыли методом VFB / В.Н. Азаров, Д.Р. Добринский, А.А. Сахарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 4 (81). – С. 127-138.
7. Сахарова, А.А. Исследование особенностей органогенных минералов как источника пылевого загрязнения воздушной среды / А.А. Сахарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2019. – Вып. 2 (75). – С. 215-223.
8. Сидельникова, О.П. Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов / О.П. Сидельникова, Ю.П. Иванова, О.О. Иванова, А.А. Сахарова, Р.А. Лясин, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 7 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7882>
9. Иванова, Ю.П. Основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на придорожных территориях линейного города / Ю.П. Иванова, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, Д.М. Лепехина, О.П. Сидельникова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8. – 8 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7874>
10. Иванова, Ю.П. Проверка применимости закона распределения мелкодисперсной пыли для различных категорий дорог / Ю.П. Иванова, Е.О. Брызгина, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 11 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7885>
11. Сахарова, А.А. Исследование аэродинамических и физико-химических характеристик пыли опоки, применяемых в строительстве / А.А. Сахарова, В.Н. Азаров // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 2 (82). – С. 106-115.
12. Pope, C. A. III. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect / C. A. Pope, , III, & D. W. Dockery // Journal of the Air & Waste Management Association. – 56(6). – 709–742. DOI: 10.1080/10473289.2006.10464485
13. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / Н. Ш. Кремер. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 543 с.
14. Иванова, Ю. П. Повышение экологической безопасности линейного города при уменьшении воздействия оксида углерода и шума (на примере г. Волгограда) [Текст] : дис. ... к-та техн. наук / Иванова Ю.П. – Волгоград, 2021. – 174 с.
15. Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley. ISBN: 978-1-118-94740-1

16. World Health Organization (WHO). (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO. ISBN: 978-92-4-003422-8

17. Zhang, K., & Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of the Total Environment*, 450–451, 307–316. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.074

18. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: : издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021 : введен 29.01.2021.

19. Семенов, М. Ю. Экологические аспекты пылевого загрязнения вблизи городских магистралей / М.Ю. Семенов, Е.Л. Иванова // Вестник МГТУ. – 2022. – №25(2), – С. 89–97.

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE CONCENTRATION OF FINE DUST IN THE AIR OF MAINLINE TERRITORIES OF URBAN ROADS ON INFLUENCING FACTORS

¹Azarov V.N., ²Ivanova Yu.P., ³Ivanova O.O., ⁴Dobrinskaya A.A., ⁵Evdokimov E.E.,
⁶Solovieva T.V., ⁷Zimnitskaya A.O.

^{1,2,3,4,5,6,7} Volgograd State Technical University, Volgograd

Annotation. The article presents a comprehensive study of the influence of factors that determine the concentration and distribution of fine dust (particles with an aerodynamic diameter of less than 10 µm, PM₁₀, and less than 2.5 µm, PM_{2.5}) on urban roads, with a focus on the areas adjacent to highways. The article examines ten key factors that affect the formation, transport, and deposition of fine dust, including meteorological conditions (wind speed and direction, humidity, and temperature), traffic intensity, and vehicle types. The paper analyzes the concentrations of fine dust in the atmosphere near urban roads. It presents a list of the dendrological composition used in landscaping in the city's near-road areas.

Keywords: linear city, road transport, pollutants, fine dust, dendrological composition, and highway-adjacent territories.

Раздел 4. Теория и практика управления

УДК 331.108

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ХЕДХАНТИНГУ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ

Цопа Н.В.¹, Храмова А.В.²

¹ Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: Natasha-ts@yandex.ru

² Российский Государственный Социальный университет, 125190, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1, e-mail: Hramova.alisa@yandex.ru

Аннотация. Актуальность темы данного научного исследования определяется тем, что в настоящее время успешное функционирование организации в значительной степени зависит от качества его трудовых ресурсов. По мнению авторов, неэффективное управление персоналом (некачественный подбор персонала, неэффективная система мотивации и стимулирования персонала, неправильная адаптация и т.д.) является основной причиной увольнения кадров, что ставит под угрозу существование самой организации.

Часто используются слова и словосочетания: «переманивание персонала», «охота за головами» (хэнхантинг (англ. headhunting)), Executive search (качественный поиск). В некоторых источниках эти понятия отождествляются, в других обосновываются их различия. В данном исследовании мы будем преимущественно использовать термин «переманивание персонала».

Переманивание персонала авторы трактуют в двух аспектах:

1. Неэтичное поведение, при котором ведется целенаправленная работа по переманиванию персонала, особенно средствами недобросовестной конкуренции.

2. Уход сотрудника в другую компанию как результат здоровой конкуренции на рынке труда.

В соответствии с названием темы данная научная статья носит преимущественно компилятивный характер.

Дана авторская трактовка системы защиты персонала от переманивания конкурентами.

Авторы представили концептуальную модель системы защиты персонала от переманивания, состоящую из элементов и связей между ними.

Ключевые слова: переманивание персонала, хедхантинг, качественный поиск, концептуальные основы, система защиты персонала, мотивация персонала, подбор персонала, рекрутинг, текучесть кадров, качественный поиск.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В современных условиях ведения бизнеса на рынке компании не только конкурируют между собой, но и борются за талантливых сотрудников. В настоящее время персонал выступает в качестве одного из основных ресурсов организации. Заполняя вакансии, конкуренты могут прибегать к тактике переманивания персонала.

Целью переманивания персонала является поиск и подбор персонала ключевых и редких, как по специальности, так и по уровню профессионализма специалистов.

Увольнение сотрудников всегда вносит некоторую нестабильность в работу организации. Чем чаще приходится искать новых кандидатов, тем больше расходов на подбор, адаптацию и т.д. Кроме того, в период, когда прежний сотрудник уволился, а новый еще не вышел на работу, снижается эффективность рабочих процессов. В связи с этим, актуально и не вызывает сомнений, что целесообразнее сотрудника удержать, чем искать нового.

Гипотеза. Переманивание персонала повышает вероятность потери организацией своих ресурсов, недополучения доходов, в связи с этим, разработанные концептуальные основы будут являться базисом для противодействия конкурентам и снижения кадровых рисков.

Новизной обладает разработанная концептуальная модель, определяющая смысловую структуру рассматриваемой предметной области – защиты персонала от переманивания конкурентами

Практическая значимость исследования состоит в возможности применения его выводов и рекомендаций для снижения текучести кадров, удержания и защиты персонала организации от переманивания конкурентами.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Источниками концептуальной структуры исследования являются литература, теория, опыт и предыдущие знания. Анализ научной литературы свидетельствует о том, что методам подбора персонала, в частности, посредством переманивания (хедхантинга) у конкурентов, уделяется широкое внимание.

Так, А.Ю. Анисимова, О. А. Пятаева, Е. П. Грабская дают следующее определение: «Хедхантинг (HeadHunting) – переманивание конкретных работающих специалистов, осуществление «качественного поиска», который учитывает особенности бизнеса заказчика, рабочей среды, личностных и деловых качеств кандидата» [3, с.70].

Хедхантинг – переманивание из других организаций конкретного работающего специалиста [8, с.182].

По мнению В.П. Пугачева, «хедхантинг (охота за головами – от англ. Executive search) или прямой поиск (поиск по заказу) – переманивание по заявке заказчика уже работающих высококвалифицированных успешных специалистов на вакантную (обычно руководящую) должность. Иногда хедхантинг и прямой поиск различают, понимая под первым переманивание конкретного человека из конкретной организации, а под вторым – работу с определенным кругом потенциальных кандидатов с целью побудить их сменить работу [11, с.458].

А. А. Литвинюк относит привлечение сотрудников из других организаций (переманивание персонала) к одному из основных методов подбора сотрудников [17, с.225].

Чаще всего объектом внимания для хедхантеров становятся: топ-менеджеры, высококлассные юристы, главные бухгалтеры, IT-специалисты, а также узкопрофильные специалисты [9, с.166].

Хедхантинг, или «охота за головами» - «переманивание» сотрудника из одной компании в другую [5, с.26].

Хедхантинг — это сложная работа, которая необходима, как правило, при поиске руководителей высшего звена, а также ключевых и редких сотрудников – как по специальности, так и по уровню профессионализма. Технология поиска усложняется предварительным сбором информации о специалисте и тщательной подготовкой «вербовки». Данная технология поиска персонала применяется и в том случае, если заказчик не знает конкретного специалиста и «охотник» должен найти его сам путем тщательного анализа конкурирующих компаний и сбора сведений о ключевых сотрудниках этих организаций. Это процедура длительная (средний срок – до полугода), дорогостоящая и ответственная.

Переманивание персонала – это разновидность прямого поиска, при котором ведется своего рода «охота» на конкретного специалиста. Суть переманивания персонала заключается в умении обнаружить привлекательные стороны в компании заказчика и соответствующие мотивы у потенциального кандидата [16].

В настоящее время не существует единой точки зрения, является ли переманивание персонала одним из методов прямого поиска персонала или это самостоятельное направление. За рубежом это считается отдельным направлением подбора персонала. При этом методы, применяемые в данном случае, не всегда могут быть этически безупречными.

В нашей стране понятие «переманивание персонала» часто отождествляют с Executive search. Executive Search в переводе означает «качественный поиск». Это технология подбора персонала, которая учитывает уникальные особенности организации заказчика, рабочего места, требуемых качеств будущего кандидата и осуществляется прямым путем, без объявления о вакансии в СМИ.

Executive Search — это метод подбора, заключающийся в поиске релевантного топового сотрудника из смежных с организацией сферах [15]. По сравнению с другими технологиями, она наиболее затратная и трудоемкая, поскольку узкоспециализирована и направлена на поиск кандидатов на ключевые позиции в организации, а также на должности специалистов узкого профиля, обладающих высокой квалификацией. Кроме того, в отличие от других технологий подбора персонала, Executive Search обладает отличительной особенностью – при использовании данной технологии вероятность закрытия вакансии может достигать 100%.

В Российском законодательстве нет понятия «restrictive covenants» (ограничительное соглашение). Использование ковенантов имеет свои нюансы, например, при сделках с недвижимостью или M&A. За рубежом компания вправе заключить с работником соглашение о неконкуренции и запретить устраиваться в течение определенного времени к прямым конкурентам.

В России такие требования противоречат нормам отечественного права, к примеру, ст. 37 Конституции РФ [1] и ст. 2 ТК РФ [2].

Теоретико-методологической основой данной научной публикации послужили положения трудов в области управления персоналом преимущественно отечественных ученых и специалистов, а также данные аналитических публикаций компаний hh Статистики», Talantix, Happy-job. Собранный материал был проанализирован и систематизирован.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной научной работы является разработка концептуальных основ противодействия хедхантингу в управлении персоналом

В соответствии с целью предполагается решение следующих *задач*:

- 1) исследовать теоретические основы переманивания (хедхантинга) персонала конкурентами;
- 2) выявить профессии, представителей которых, согласно данным аналитических компаний, чаще переманивают, а также способы, с помощью которых это осуществляется;
- 3) разработать концептуальную модель системы защиты персонала организации от переманивания конкурентами с подробным описанием ее элементов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В настоящее время персонал выступает в качестве одного из основных ресурсов организации [17, с.38]. При этом, российский бизнес все острее нуждается в рабочей силе: об этом говорит и статистика hh.ru, согласно которой за январь-август 2024 г. было открыто на 25% больше вакансий, чем годом ранее, а по данным аналитики Центрального Банка России, дефицит кадров влияет на экономическое развитие [4].

По данным «hh Статистики», на сферу «Рабочий персонал» приходится 23% всех вакансий, открытых в августе 2024 года, на «Продажи, обслуживание клиентов» — 21%, а на «Производство, сервисное обслуживание» — 15% [4].

Такое совпадение не случайно. По данным Росстата, индекс промышленного производства в январе-сентябре 2024 г. по сравнению с аналогичным периодом 2023 г. составил 104,4%. Произошло расширение промышленного сектора [10].

Одним из подходов в найме сотрудников, позволяющих не только закрыть высококвалифицированные вакансии, но и повысить конкурентоспособность компании выступает хедхантинг персонала в других компаниях. Чтобы эффективно и быстро закрывать вакансии в таких сложных условиях, 67% работодателей прибегают к прямому хантингу кандидатов.¹ Он заключается в поиске подходящего кандидата, уже трудящегося у стороннего работодателя (как в конкурирующей, так и в смежной сфере), предложении ему лучших условий найма и в случае достижения договоренности, его приема в команду.

Также целенаправленное переманивание лучших сотрудников у своих конкурентов является системой поиска и найма персонала с использованием тактики партизанской войны, направленной, прежде всего, против конкурентов, на «болевы́е точки» – ключевых сотрудников.

Exclusive search можно определить, как способ переманивания конкретных сотрудников, при котором работодатель не просто ставит целью переманить абстрактного профессионала, а «охотится» за конкретным человеком.

Такая тактика имеет несколько преимуществ:

- предприятие получает опытного сотрудника, а конкурент его теряет.
- вместе с менеджером конкурента предприятие, возможно, получает новых клиентов и увеличивает свою долю рынка. Конкурент, соответственно, теряет;
- предприятие приобретает сотрудника, хорошо знающего специфику и планы фирмы-конкурента, его плюсы и болевы́е точки.

Западные корпорации давно пытаются бороться с переманиванием персонала. Например, помимо традиционного headhunting, а также негативного talent poaching («кадровое

¹ Источник: данные облачной CRM-системы для рекрутинга Talantix (входит в HR-экосистему сервисов hh.ru)

браконьерство»), они говорят уже и о явлении под названием talent raiding – «кадровые налеты» [6, с.25].

Чаще хедхантинг — это подбор руководящего звена или уникальных, узкоспециализированных профессионалов. Такие профессионалы выступают ценным ресурсом, способным начать приносить отдачу, придать новый импульс для развития предприятия в кратчайший после трудоустройства период.

Основное отличие хедхантинга от иных видов рекрутинга заключается в том, что искомые кандидаты, как правило, не находятся в активном поиске и вполне довольны своим текущим рабочим местом. Поэтому на обычные объявления о наборе определенных категорий персонала они не реагируют.

Чаще всего такие организации руководствуются весьма безобидной целью – переманить высококлассного специалиста (95%), однако есть и такие, кто затевают все это ради разведывания коммерческой тайны (1%) или просто хотят лишить соперника ключевого сотрудника (3%).

В большинстве случаев работодатели выходят на персонал конкурентов через контакты профессионального сообщества (52%), 46% специально «пробивают» необходимых людей на сайтах по поиску работы, а 39% получают информацию у друзей и знакомых. Подкупить таких сотрудников удастся более высокой зарплатой (68%), новой интересной должностью (65%) и любопытным функционалом (59%) [7].

На рисунке 1 представлены профессии, представителей которых приходилось чаще переманивать.



Рис. 1. Профессии, представителей которых приходилось переманивать [12]

Как видно из рисунка 1, в первую очередь российские работодатели переманивают друг у друга рабочих (26%), менеджеров по продажам (24%) и специалистов производственной сферы (20%). В топ-6 специальностей, по которым ведется хантинг, также входят руководители и топ-менеджеры (13%), сотрудники торговли (12%) и ИТ-специалисты (11%).

Специалисты компании Harry-job выяснили, что предлагают сотрудникам, чтобы они перешли к конкурентам (рисунок 2).



Рис. 2. Предложения конкурентов для переманивания персонала [12]

В результате переманивания конкурентами наиболее ценных сотрудников возникают угрозы безопасности организации.

Концептуальная модель – набор понятий и связей, помогающих описать сущность и структуру. Элементы системы в данной модели системы защиты персонала от переманивания конкурентами представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Модель системы защиты персонала от переманивания конкурентами (составлено авторами)

По мнению авторов, система защиты персонала от переманивания конкурентами – это совокупность элементов (субъектов, объектов, средств, методов, результатов), направленных на сохранение стабильности функционирования кадрового состава организации в условиях

конкуренции и недобросовестного поведения основных конкурентов.

В системе защиты персонала от переманивания авторы выделяют следующие элементы:

1. Субъекты: административно-управленческий персонал. Деятельность субъектов направлена на объекты и осуществляется с помощью методов и технологий.
2. Объекты: административно-управленческий и основной персонал; кадровые процессы. В отношении объектов осуществляется управленческое воздействие и защита.
3. Средства защиты: различные направления управления персоналом в соответствии с выявленными проблемами и превентивные меры удержания персонала.
4. Методы и технологии защиты: совершенствование подбора персонала, материальная мотивация, проведение адаптации, улучшение социально-психологического климата и др.
5. Результат: снижение текучести кадров, повышение мотивации, минимизация угроз переманивания конкурентами.

Бороться с переманиванием сотрудников необходимо, предварительно выявив проблемы в управлении персоналом организации.

Рассмотрим более подробно распространенные проблемы.

- 1) Текучесть кадров. Когда человек увольняется, в компании замедляются бизнес-процессы, за которые он отвечал. Это связано с тем, что этот сотрудник «дорабатывает» без особой мотивации. Потом на его место приходит новый работник, который в первое время может не производить нужный результат. Если он только обучается, то сначала может допускать много ошибок.
- 2) Дополнительные расходы на найм и обучение новичка. Как правило, замена одного сотрудника обходится дороже его месячной зарплаты. Например, нужно оплатить работу рекрутера, разместить объявление о вакансии, провести отбор и собеседования, ввести в должность.
- 3) Теряются знания и умения. Вместе с эффективным работником «уходит» технология его работы.
- 4) Потеря сильного специалиста может подорвать моральный настрой команды и вызвать «эффект домино», когда за одним человеком увольняются несколько других. Такое происходит, когда уходит один из руководителей или лучших работников.

Все это говорит о том, что нужно свести к минимуму текучесть кадров. Ошибки в подборе сотрудников провоцируют их дальнейшее увольнение. Для этого необходимо систематизировать процесс найма:

- 1) определить, какой именно человек нужен на текущую должность, и прописать его профессиональные и личностные компетенции;
- 2) создать и разместить объявления о вакансии. Объявление должно быть привлекательным, рассказывать про сильные стороны компании и привлекать людей, которым они важны;
- 3) выполнить предварительный отбор, провести собеседование или дать кандидатам заполнить анкету;
- 4) предложить кандидатам практическое задание, которое максимально приближено к его будущим рабочим задачам;
- 5) сделать окончательный выбор и оформить сотрудника в штат, после начать проведение его адаптации.

Считается, что большинство недавно принятых работников увольняется именно в период привыкания. Основной причиной, как правило, становится несоответствие ожиданий и реальной обстановки. Адаптация позволяет приобретать новые навыки, знания и умения, позволяющие новым сотрудникам максимально эффективно выполнять свои должностные обязанности в организации.

Динамичная, гибкая, и ориентированная на сотрудников система мотивации позволяет удерживать лояльный персонал. В настоящее время наличие такой системы — это одно из ведущих конкурентных преимуществ работодателей в «войне» за профессиональных кандидатов.

Мотивацию проводят для того, чтобы объединить интересы компании и сотрудников. То есть компании необходима качественно выполненная работа, а персоналу нужна достойная заработная плата. Но это не единственная цель, которую преследует стимулирование работников. Мотивируя сотрудников, руководители стремятся:

- удержать постоянный штат;
- минимизировать число увольняющихся (устранить текучесть кадров);

- обозначить цели и ориентировать персонал на достижение результатов в заданные сроки;
- выявить и заслуженно наградить лучших сотрудников;
- заинтересовать и привлечь ценные кадры;
- осуществлять контроль над выплатами заработной платы.

По мнению авторов, результатами от проведения мероприятий по мотивации работников компании являются:

- повышение качества предоставляемых услуг и производительность труда;
- работники начинают ответственнее подходить к выполнению своих служебных обязанностей;
- у сотрудников появляется командный дух;
- производственные показатели улучшаются;
- уменьшается текучесть кадров;
- компания быстрее развивается и т.д.

Таким образом, данные рекомендации позволят компании N совершенствовать систему защиты персонала от переманивания конкурентами.

Для снижения текучести кадров необходимо систематизировать найм. На рисунке 4 представим этапы успешного найма персонала.

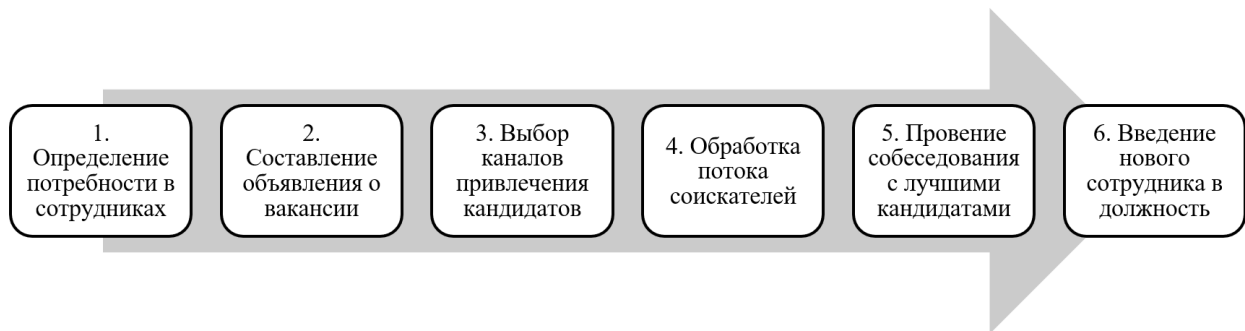


Рис. 4. Этапы успешного найма персонала (составлено авторами)

На первом этапе необходимо определить, какой специалист нужен, путем проработки детального портрета целевого кандидата:

- какую проблему бизнеса решит найм этого человека на должность?
- какой результат он принесет компании?
- каким требованиям должен соответствовать человек, чтобы выполнять работу?
- какими личностными качествами он должен обладать?
- какая ему нужна мотивация?

На втором этапе составляется объявление о вакансии – это возможность заинтересовать кандидата и продать ему идею работать в компании.

В интернете много шаблонных объявлений, которые обещают хорошие зарплаты, бонусы и быстрый карьерный рост. В них делается акцент на вознаграждении. Однако, чтобы эффективных сотрудников, нужно сменить акцент.

При выборе каналов привлечения кандидатов, в настоящее время популярны тематические группы в соцсетях и каналы в Телеграмме. Можно разместить объявление в аккаунте соцсетей, среди подписчиков могут быть не только клиенты, но и потенциальные сотрудники, которые ждут подходящей возможности устроиться в подобную компанию.

Отличным каналом для поиска сотрудников могут быть и действующие работники, партнеры и клиенты. У каждого есть знакомые, среди которых могут быть специалисты с подходящими компетенциями. Если кандидаты придут по рекомендации, вероятнее всего у них будет выше заинтересованность работать в вашей компании.

После того как объявление размещено и получены первые отклики, важно оперативно их обработать – это и будет четвертым этапом. Задачей данного этапа заключается в том, что среди всех кандидатов быстро определить продуктивных сотрудников и связаться с ними. Скорость играет важную роль в найме, поскольку востребованные специалисты, как правило, не остаются надолго без работы.

Традиционный отбор персонала в компанию обычно занимает много времени – руководитель изучает много резюме, проводит собеседования и забывает о кандидате на одну-две недели, пока принимается окончательное решение. И когда перезванивают соискателя, зачастую оказывается, что он уже нашел другую работу. Если медлить на этом этапе, могут остаться только те, кого нигде не берут.

На пятом этапе проводятся собеседования с лучшими кандидатами. Каждый кандидат пытается показать себя в выгодном ракурсе. Работодателю не всегда бывает понятно, как выбрать лучшего и принесет ли этот человек пользу компании. Можно выделить три ключевых фактора найма (рис.5).

Продуктивность – это важный фактор, который показывает, какой результат будет производить сотрудник на рабочем месте. Чтобы узнать его продуктивность, следует спросить о результатах на прошлом рабочем месте. Не о том, что он делал и какие обязанности выполнял, а что он сделал, какой продукт производил и какие результаты показал.

Мотивация. Человек устраивается на работу, имея внутреннее побуждение к достижению цели. Мотивация направлена на повышение производительности и продуктивности работников.

Признание. Понимая мотивацию кандидата, можно представить качество его работы. Если человек заинтересован только в материальной выгоде, любая инициатива будет упираться в вопрос «а сколько мне доплатят?». Признание заключается в выражении признательности, уважения к человеку за его достижения, с тем числе, и посредством поощрений.

Рис. 5. Ключевые факторы найма

Продуктивных сотрудников в первую очередь интересует, чем им предстоит заниматься и как им преуспеть на своей должности. Чтобы привлечь таких специалистов, необходимо четко обозначить, что нужно будет делать работнику, какой нужен результат, какие вызовы и сложности ждут его на рабочем месте. Подробное описание рабочих задач интересует сотрудников, которые хотят и умеют производить результат, и оттолкнет тех, кто хочет получать зарплату просто за факт присутствия на рабочем месте.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Итак, в современных организациях стало принято уделять большее внимание человеческому капиталу, поскольку, благодаря человеческому фактору, организация способна преобразоваться и структурироваться таким образом, чтобы быть наиболее эффективной в конкурентной борьбе, а также в достижении собственных целей. Однако, большой угрозой для организации является возможность переманивания наиболее ценных сотрудников в компании конкурентов. Поэтому для руководителя любой организации важно разрабатывать и внедрять способы защиты персонала от переманивания конкурентами.

Очевидно, что, если сотрудник доволен условиями работы в компании, его сложно переманить. С переманиванием бороться сложно. Лучше работать на опережение, «прокачивать» сильные стороны компании и сделать все, чтобы сотрудникам не хотелось увольняться.

По мнению авторов, эффективное управление персоналом, направленное на

совершенствование процесса подбора, улучшение условий труда и материального благосостояния сотрудников, поддержание социально-психологического климата, станет ключевым инструментом для минимизации текучести кадров и повышения стабильности кадрового состава.

В системе управления персоналом необходимо проводить регулярный анализ эффективности мер удержания сотрудников, обновлять и корректировать указанные меры, что позволит компании быть гибкой и адаптироваться к изменяющимся требованиям сотрудников и внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/5e37b9644c66582efdaf762a109a281bf999c28d/?ysclid=m691v816v8262354811 (дата обращения 12.01.2025)
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 26.12.2024). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/c7ef87752911a462421a20086f91b31ff6a890f3/?ysclid=m691si7f303277813 (дата обращения 12.01.2025)
3. Анисимов, А. Ю. Управление персоналом организации: учебник для среднего профессионального образования / А. Ю. Анисимов, О. А. Пятаева, Е. П. Грабская. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 278 с. С.70
4. Две трети российских работодателей прибегают к хантингу кандидатов и переманивают сотрудников из других компаний. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2024-10-16_dve_treti_rossijskih_rabotodatelej (дата обращения 19.12.2023)
5. Исаева, О.М. Управление человеческими ресурсами: учебник и практикум для вузов / О. М. Исаева, Е. А. Припорова. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 172 с.
6. Махмудова, И.Н. Кадровая безопасность: методы воздействия на персонал. В 2 ч. Ч.2. Противодействие угрозам при подборе кадров: учеб. пособие / И.Н. Махмудова. — Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2018. — 88 с.
7. Как переманить сотрудника у конкурента? URL: hh.ru/article/12669 (дата 12.12.2024)
8. Кязимов, К.Г. Управление человеческими ресурсами: профессиональное обучение и развитие: учебник для вузов / К. Г. Кязимов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 202 с.
9. Масалова, Ю. А. Маркетинг персонала: учебное пособие для вузов / Ю. А. Масалова. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 321 с.
10. О промышленном производстве в январе-сентябре 2024 год. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/164_23-10-2024.html (дата обращения 19.12.2023)
11. Пугачев, В.П. Управление персоналом организации: учебник и практикум для вузов / В. П. Пугачев. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 523 с.
12. Российские работодатели стали активно прибегать к хантингу и переманивают сотрудников друг у друга. URL: <https://talantix.ru/promo/blog/pryamoy-khanting-kandidatov?ysclid=m699b3ceer479113864#popup:cornerform> (обращения 15.12.2024)
13. Сытник А.А., Храмова А.В. Внедрение инструментов повышения лояльности персонала в деятельность организации / А.А. Сытник, А.В. Храмова // Вестник Национального Института Бизнеса. — 2023. — № 1 (49). — С. 203-210.
14. Литвинюк, А. А. Управление персоналом: учебник и практикум для среднего профессионального образования / А. А. Литвинюк [и др.]; под редакцией А. А. Литвинюка. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 461 с.
15. Хантинг в подборе персонала: чем опасен и как защититься. URL: <https://happy-job.ru/hr-blog/hanting-sotrudnikov/> (дата обращения 12.12.2024)
16. Хантинг персонала: как переманивать чужих сотрудников и защитить своих. URL: <https://spectrumdata.ru/blog/proverka-soiskatelya/khanting-personala-kak-peremanivat-chuzhikh-sotrudnikov-i-zashchitit-svoikh/> (дата обращения 22.12.2024)
17. Цопа, Н.В. Профилактика профессионального выгорания в торговой организации / Н.В. Цопа, А.А. Сытник, А.В. Храмова // Экономика строительства и природопользования. — 2023. — № 1 (86). — С. 13-23.

THE CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF COUNTERING HEADHUNTING IN PERSONNEL MANAGEMENT

¹Tsopa N.V., ²Khramova A.V.

¹ Academy of Construction and Architecture (structural unit), V.I. Vernadsky KFU, Simferopol, Russia

² Russian State Social University, Moscow, Russia

Annotation. The relevance of the topic of this scientific research is determined by the fact that currently the successful functioning of an organization largely depends on the quality of its workforce. According to the authors, ineffective personnel management (poor-quality recruitment, ineffective motivation and incentive system, improper adaptation, etc.) is the main reason for the dismissal of personnel, which endangers the existence of the organization itself.

Words and phrases are often used: "luring staff", "headhunting", Executive search. Some sources identify these concepts, while others explain their differences. In this study, we will primarily use the term "recruitment".

The authors interpret staff recruitment in two aspects:

1. Unethical behavior, in which purposeful work is being carried out to lure staff, especially through unfair competition.
2. The departure of an employee to another company as a result of healthy competition in the labor market.

In accordance with the title of the topic, this scientific article is mainly of a compilation nature.

The author's interpretation of the personnel protection system from being lured away by competitors is given.

The authors presented a conceptual model of the personnel protection system against poaching, consisting of elements and links between them.

Keywords: staff recruitment, headhunting, quality search, conceptual framework, staff protection system, staff motivation, recruitment, staff turnover, quality search.

УДК 004.056.53

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Бойченко О.В.¹, Фаина Ю.Ю.²

¹Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: bolek61@mail.ru

²Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: fafina.02@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли и предлагаются методы их минимизации. Цель исследования — систематизация экономических рисков и разработка методов их минимизации. Методы исследования включают системный анализ, статистический анализ данных и кейс-стади российских компаний. В результате работы были выявлены и классифицированы 8 ключевых экономических рисков, объединённых в 4 категории: риски капитальных затрат, риски устаревания технологий, риски зависимости от поставщиков ПО и финансовые риски кибербезопасности. Разработана методика количественной оценки финансовых потерь. Установлено, что компании, не проводящие предварительный анализ рисков, сталкиваются с перерасходом бюджета на 25–30 %. Выявлена прямая зависимость между уровнем цифровизации и затратами на кибербезопасность. Оптимальный уровень затрат для компаний с высоким уровнем цифровизации составляет 15–20 % от бюджета цифровизации. Предложены модели страхования цифровых рисков для строительной отрасли. Практическая значимость исследования заключается в предоставлении конкретных рекомендаций по минимизации экономических рисков, включая поэтапное внедрение технологий, инвестиции в обучение персонала и регулярный аудит эффективности цифровых решений.

Ключевые слова: экономические риски цифровой трансформации, строительная отрасль, капитальные затраты, кибербезопасность, уровень цифровизации, методы минимизации рисков, BIM-технологии, поэтапное внедрение, ROI (возврат на инвестиции), страхование цифровых рисков, цифровая вертикаль, перерасход бюджета.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация строительной отрасли в последние годы приобрела особую актуальность как в России, так и на международном уровне. В настоящее время строительство активно включается в процесс цифровизации, который ранее отставал от других секторов экономики. Как отмечают эксперты, если два года назад наблюдалось десятилетнее отставание в цифровизации строительной отрасли, то сегодня этот разрыв практически ликвидирован [7]. Тем не менее переход к цифровым технологиям сопряжён с рядом экономических рисков, требующих тщательного анализа и разработки методов их минимизации.

Согласно данным исследования, строительная отрасль тратит на цифровизацию всего 1,1 % от общих расходов на технологии, что значительно меньше, чем в других секторах экономики [7]. Такой низкий уровень финансирования становится одним из ключевых препятствий на пути к успешной цифровой трансформации отрасли. При этом, как отмечают Степанов А. В., Матвеева М. В. и Пешкова Е. С., сегодня главной проблемой цифровизации строительной отрасли является нехватка квалифицированных специалистов в области цифровых технологий [2]. Нехватка узкоспециализированных кадров создаёт серьёзные проблемы при внедрении новых технологий и препятствует росту и развитию отрасли.

Анализ существующих исследований показывает, что в научной литературе недостаточно внимания уделяется именно экономическим аспектам рисков цифровой трансформации строительной отрасли. Большинство работ сосредоточено на технологических аспектах и преимуществах цифровизации, но в них подробно не рассматриваются финансовые последствия неудачного внедрения цифровых решений [2]. В частности, в оригинальной статье «Цифровая трансформация экономики строительства» недостаточно раскрыты именно экономические аспекты рисков, что создаёт пробел в научных исследованиях [3].

Проблемная ситуация заключается в высокой капиталоемкости внедрения цифровых решений в строительную отрасль. Стоимость внедрения цифровых технологий является весомым фактором, препятствующим развитию отрасли [2]. Кроме того, наблюдается проблема отсутствия гарантированного результата от инвестиций в цифровые технологии, что усиливает экономические риски для строительных компаний [3].

Потому последующие исследования в части систематизации и анализа экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли с целью снижения финансовых потерь строительных компаний, а также создании методологической базы для оценки экономических рисков цифровизации, адаптированной к специфике строительной отрасли являются актуальными.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ

В современной научной литературе цифровая трансформация строительной отрасли представлена достаточно широко, однако исследования, посвященные именно экономическим рискам этого процесса, остаются недостаточно изученными. Анализ существующих работ показывает, что большинство исследований сосредоточено на технологических аспектах внедрения цифровых решений, их преимуществах и перспективах [2]. Например, Степанов А. В., Матвеева М. В. и Пешкова Е. С. в своей работе рассматривают цифровизацию как ключевой фактор обеспечения качественного устойчивого развития и повышения конкурентоспособности отрасли на мировом рынке, но не акцентируют внимание на экономических рисках этого процесса [2].

Чапаев Н. М. в исследовании «Цифровая трансформация на примере строительной отрасли» отмечает, что внедрение цифровых технологий в строительство в России затруднено некоторыми факторами, в том числе бюрократическими препятствиями и ограничениями на использование зарубежного программного обеспечения [3]. Однако в работе недостаточно раскрыты количественные аспекты экономических потерь, связанных с этими рисками.

Мищенко А. С. в работе «Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли» предлагает формулу для определения уровня цифровизации строительства:

$$УЦст = \frac{1}{3}УИД + \frac{1}{3}УЦУО + \frac{1}{3}УЦВ,$$

где УЦст — уровень цифровизации строительства, УИД — уровень информатизации деятельности, УЦУО — уровень цифровизации ключевых областей управления, УЦВ — уровень цифрового взаимодействия [1]. Эта методика позволяет оценить текущее состояние цифровизации, но не содержит инструментов для анализа экономических рисков, связанных с этим процессом.

Ковтун Е. Н. и Молчанова Р. В. в работе «Цифровизация технологического инжиниринга и реинжиниринга» рассматривают процесс цифровизации как необходимое условие стабильного и эффективного функционирования строительного комплекса, но не анализируют экономические риски этого процесса [4].

В обзоре TAdviser 2023, посвящённом цифровизации строительства, отмечается, что уровень цифровизации строительной отрасли неравномерен: крупные девелоперы уже широко используют цифровые решения, в то время как их подрядчики отстают [8]. Это создаёт дополнительные экономические риски, связанные с несогласованностью цифровых процессов между участниками строительного проекта, но в обзоре не представлены методы оценки этих рисков.

Анализ существующих классификаций экономических рисков показывает, что в большинстве исследований недостаточно систематизированы риски, характерные именно для строительной отрасли. Чапаев Н. М. отмечает, что для успешной реализации цифровой трансформации необходимо учитывать все аспекты, включая технологии, программное обеспечение, участников инвестиционно-строительного цикла и кадры [3]. Однако в работе не представлена подробная классификация экономических рисков.

Методы оценки экономических рисков цифровой трансформации в строительной отрасли представлены в работах Мищенко А. С. и Молчановой Р. В. [1, 6]. В частности, Мищенко А. С. предлагает использовать показатели для оценки уровня информатизации деятельности строительных организаций и уровня цифровизации ключевых областей управления [1]. Эти показатели можно адаптировать для оценки экономических рисков, но в оригинальной работе этого не сделано.

Критический анализ существующих подходов показывает, что большинство методологий оценки экономических рисков не учитывают специфику строительной отрасли. Как отмечают Степанов А. В., Матвеева М. В. и Пешкова Е. С., строительство имеет ряд особенностей, таких как длительный жизненный цикл проектов, высокая материалоёмкость и зависимость от поставщиков,

сложность координации множества участников проекта, что требует адаптации общих моделей оценки рисков к отраслевой специфике [2].

Кроме того, существует проблема нехватки данных для анализа экономических рисков цифровой трансформации в строительной отрасли. Как отмечается в обзоре TAdviser за 2023 год, отсутствие единых стандартов в отрасли и неравномерность внедрения цифровых технологий затрудняют сбор и анализ данных об экономических последствиях цифровизации [8].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка комплексной методологии оценки и минимизации экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли, адаптированной к специфике отрасли и учитывающей современные тенденции цифровизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Систематизировать экономические риски, связанные с цифровой трансформацией строительной отрасли, с учётом специфики отрасли и современных тенденций цифровизации [2, 3].

2. Разработать методику количественной оценки финансовых потерь при неудачном внедрении цифровых решений, основанную на адаптации методов Мищенко А. С. [1] и учитывающую особенности строительного цикла.

3. Проанализировать зависимость затрат на кибербезопасность от уровня цифровизации строительных компаний, используя данные обзора TAdviser за 2023 год и исследования cifrastry.ru [7, 8].

4. Изучить возможности страхования цифровых рисков в строительной отрасли на основе анализа международной практики и адаптации к российским условиям [9, 10].

5. Сформировать рекомендации по минимизации экономических рисков цифровой трансформации для строительных компаний с разным уровнем зрелости [2, 3, 6].

Предметом исследования являются экономические механизмы возникновения и минимизации рисков в процессе цифровой трансформации строительной отрасли, включая финансовые, технологические и управленческие аспекты.

Для решения поставленных задач будут использованы следующие **методы** исследования:

1. Системный анализ — для комплексного рассмотрения процесса цифровой трансформации и выявления взаимосвязей между различными экономическими рисками [1, 4].

2. Сравнительный анализ — для сопоставления подходов к минимизации рисков в различных строительных компаниях и выявления наиболее эффективных методов [2, 8].

3. Статистический анализ данных — для количественной оценки влияния различных факторов на экономические риски цифровизации [7, 9].

4. Методы экономического прогнозирования — для оценки долгосрочных последствий цифровой трансформации и разработки сценариев минимизации рисков [3, 10].

5. Кейс-стади российских строительных компаний — для проверки разработанных методов на практике и формирования рекомендаций, адаптированных к российским условиям [5, 6].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Цифровая трансформация строительной отрасли сопряжена с рядом экономических рисков, которые необходимо систематизировать и оценить. Анализ работ Степанова А. В., Матвеевой М. В. и Пешковой Е. С. [2], а также исследования Чапаева Н. М. [3] позволяет выделить следующие категории экономических рисков:

Риски капитальных затрат. Одним из основных экономических рисков является высокая стоимость внедрения цифровых решений. По данным cifrastry.ru, строительная отрасль тратит на цифровизацию всего 1,1% от общих расходов на технологии, что значительно меньше, чем в других секторах экономики [7]. Нехватка финансовых ресурсов является одним из основных препятствий для цифровизации строительной отрасли [2]. Кроме того, часто возникают непредвиденные расходы на интеграцию новых систем с существующими процессами, что приводит к перерасходу бюджета.

Риски, связанные с устареванием технологий. Быстрое моральное устаревание цифровых решений представляет собой серьёзный экономический риск. Как отмечает Н. М. Чапаев, для успешной реализации цифровой трансформации необходимо учитывать все аспекты, включая технологии и программное обеспечение [3]. Однако циклы обновления программного обеспечения

и оборудования часто не совпадают с длительными сроками реализации строительных проектов, что приводит к необходимости дополнительных инвестиций в обновление технологий.

Риски зависимости от поставщиков ПО. Строительные компании сталкиваются с проблемой монополизации рынка цифровых решений и сложностями при переходе между платформами. В обзоре TAdviser за 2023 год отмечается, что уровень цифровизации строительной отрасли неравномерен: крупные девелоперы уже широко используют цифровые решения, в то время как их подрядчики отстают [8]. Это создает дополнительные экономические риски, связанные с несогласованностью цифровых процессов между участниками строительного проекта.

Финансовые риски кибербезопасности. С ростом уровня цифровизации возрастают и риски кибератак, что приводит к дополнительным затратам на обеспечение информационной безопасности. Как отмечается в обзоре «Цифровой фундамент: как строительная отрасль осваивает технологии», цифровизация позволяет использовать прогнозную аналитику и автоматизированную оценку рисков, но одновременно повышает уязвимость к киберугрозам [10].

Таблица 1.
Классификация экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли

Категория риска	Подкатегория	Вероятность возникновения	Потенциальные финансовые потери (млн. руб.)	Уровень воздействия
Риски капитальных затрат	1. Низкий уровень финансирования	80%	10-30	Высокий
	2. Непредвиденные расходы на интеграцию систем	65%	5-20	Средний
Риски устаревания технологий	1. Быстрое моральное устаревание	55%	8-25	Средний
	2. Необходимость частой замены оборудования	40%	5-15	Низкий
Риски зависимости от поставщиков ПО	1. Монополизация рынка	70%	12-30	Высокий
	2. Сложность перехода между платформами	60%	10-25	Средний
Финансовые риски кибербезопасности	1. Утечки данных	50%	15-40	Высокий
	2. Кибератаки на IoT-системы	45%	20-50	Очень высокий

Данные основаны на анализе материалов [2, 3, 7, 8]

Для оценки экономических рисков цифровой трансформации необходимо разработать методику количественной оценки финансовых потерь. Мищенко А. С. в работе «Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли» предлагает использовать показатели для оценки уровня информатизации деятельности и уровня цифровизации ключевых областей управления [1]. Эту методику можно адаптировать для оценки экономических рисков.

Методология оценки финансовых потерь включает в себя следующие этапы:

1. Формирование матрицы рисков с оценкой вероятности возникновения и финансовых последствий для каждого типа риска.

2. Расчет ожидаемых потерь по формуле: $ОП = ВР * ФП$, где ОП — ожидаемые потери, ВР — вероятность риска, ФП — финансовые последствия.

3. Анализ зависимости между уровнем цифровизации и ожидаемыми потерями.

На основе данных обзора TAdviser за 2023 год и исследования cifrastroy.ru можно выделить следующие закономерности:

- С повышением уровня цифровизации растут как потенциальные выгоды, так и возможные финансовые потери [8].

- Компании, внедряющие цифровые технологии без предварительного анализа рисков, сталкиваются с перерасходом бюджета в среднем на 25–30 % [7].

- Наибольшие финансовые потери наблюдаются при неудачном внедрении BIM-технологий и систем управления проектами [2].

Эти закономерности подтверждаются практическими примерами. Как отмечается в обзоре «Оптимизация строительства с помощью цифровых решений», компании, внедряющие цифровые решения без учета специфики строительного процесса, часто сталкиваются с проблемами интеграции и перерасходом бюджета [12]. При этом компании, использующие поэтапный подход и пилотные проекты, демонстрируют более высокую эффективность инвестиций в цифровые технологии.

Статистический анализ данных показывает, что средний срок окупаемости инвестиций в цифровые технологии в строительстве составляет 3–5 лет [3]. Однако при неудачном внедрении этот срок может увеличиться в 2–3 раза или вовсе не окупиться.

Исследуя проблематику экономического анализа затрат на кибербезопасность в зависимости от уровня цифровизации компании, следует подчеркнуть, что с ростом уровня цифровизации строительных компаний увеличиваются и затраты на кибербезопасность. Анализ материалов показывает, что существует прямая зависимость между уровнем цифровизации и затратами на защиту данных.

Чапаев Н. М. в работе «Цифровая трансформация на примере строительной отрасли» отмечает, что для успешной реализации цифровой трансформации необходимо учитывать все аспекты, включая кибербезопасность [3]. Однако в работе не представлена количественная оценка этой зависимости.

В обзоре «Цифровой фундамент: как строительная отрасль осваивает технологии» отмечается, что цифровизация позволяет использовать прогнозную аналитику и автоматизированную оценку рисков, что может снизить вероятность кибератак [10]. Однако одновременное увеличение количества цифровых точек взаимодействия приводит к росту уязвимостей.

На основе анализа данных из различных источников можно установить следующую зависимость:

Таблица 2.
Зависимость затрат на кибербезопасность от уровня цифровизации

Уровень цифровизации	Доля затрат на кибербезопасность от бюджета цифровизации	Оптимальная стратегия	ROI кибербезопасности
Низкий (0–30 %)	5-8%	Базовая защита, обучение персонала	1:3
Средний (30–60 %)	10-15%	Многоуровневая защита, ИИ-мониторинг	1:4.5
Высокий (60–80 %)	15-20%	Интеграция с BIM и блокчейном	1:6
Очень высокий (80–100 %)	20-25%	Полная интеграция, автономные системы	1:5

Данные основаны на анализе материалов [3, 7, 10]

Анализ эффективности инвестиций в кибербезопасность показывает, что для компаний с высоким уровнем цифровизации оптимальным является уровень затрат в 15–20 % от бюджета цифровизации [10]. При этом использование ИИ-мониторинга аномалий позволяет снизить риски атак на 60 %, но увеличивает затраты на 15–20 % [10].

Примером эффективного внедрения мер кибербезопасности может служить использование блокчейн-технологий для защиты BIM-моделей, окупаемость инвестиций в которые, согласно исследованию, составляет 18 месяцев [10].

Анализ существующих материалов показывает, что страхование цифровых рисков в строительной отрасли находится на начальной стадии развития. Обзор «Цифровизация строительства в 2025 году: как» указывает на потенциал развития страховых механизмов для покрытия экономических потерь, связанных с неудачным внедрением цифровых решений [9].

В настоящее время на рынке представлены ограниченные страховые продукты, ориентированные на покрытие ущерба от кибератак, но отсутствуют специализированные продукты для страхования рисков, связанных с неэффективным внедрением цифровых технологий в строительстве [9].

Международная практика показывает, что для строительной отрасли могут быть адаптированы следующие модели страхования цифровых рисков:

1. Страхование финансовых потерь от неудачного внедрения цифровых решений.
2. Страхование строительных проектов от ущерба в результате кибератак.
3. Страхование ответственности за утечку данных в процессе строительства.

В обзоре «Цифровизация строительной отрасли: шаги в будущее» предлагается создать отраслевые стандарты оценки рисков и систему сертификации цифровой зрелости компаний для развития страхового рынка цифровых рисков [11].

Рекомендации по внедрению механизмов страхования включают:

- разработку отраслевых стандартов оценки рисков цифровой трансформации.
- внедрение системы сертификации цифровой зрелости компаний для определения тарифов страхования.
- создание совместных программ страхования с участием государственных структур для поддержки малых и средних строительных компаний.

Следует отметить, что анализ существующих материалов позволяет выделить следующие методы минимизации экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли:

Поэтапное внедрение технологий. Мищенко А. С. в работе «Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли» предлагает алгоритм внедрения цифровых инструментов в работу строительных компаний, охватывающий все этапы жизненного цикла объектов строительства [1]. Этот алгоритм включает два основных этапа: оцифровку данных посредством внедрения информационных систем в управление и внедрение цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла объекта строительства [1].

Система аудита и оценки эффективности. Степанов А. В., Матвеева М. В. и Пешкова Е. С. подчеркивают важность создания единой информационной среды, известной как цифровая вертикаль строительной отрасли, которая обеспечивает контроль и внедрение программ в области государственного заказа, проектирования и строительства объектов [2]. Эта система позволяет оценивать эффективность внедрения цифровых технологий на всех этапах проекта.

Подготовка персонала. Чапаев Н. М. отмечает, что обеспечение профессионального обучения и повышения квалификации специалистов является важным аспектом цифровой трансформации в строительстве [3]. Инвестиции в обучение персонала позволяют снизить риски, связанные с человеческим фактором, и повысить эффективность использования цифровых технологий.

Интеграция цифровых решений. В обзоре «Оптимизация строительства с помощью цифровых решений» указано, что внедрение цифровых решений значительно улучшает все аспекты строительства и оптимизирует процессы, позволяя снизить стоимость проекта и гарантировать качественное выполнение работ в срок [12]. Однако для достижения этих результатов необходимо обеспечить полную интеграцию цифровых решений на всех этапах строительного процесса.

Создание цифровой вертикали. Степанов А. В., Матвеева М. В. и Пешкова Е. С. рассматривают создание цифровой вертикали строительной отрасли как основу для подобных проектов в других сферах жизни человека [2]. Эта вертикаль обеспечивает взаимодействие всех участников строительной отрасли в России на основе единых форматов и требований, что позволяет

согласовывать процессы и интегрировать информационные системы всех участников, автоматизировать и ускорять процессы, оптимизировать затраты и устранять ошибки на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства [2].

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования были получены следующие основные результаты:

1. Выявлены и классифицированы 8 ключевых экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли, объединённых в 4 категории: риски капитальных затрат, риски устаревания технологий, риски зависимости от поставщиков программного обеспечения и финансовые риски кибербезопасности.

2. Разработана методика количественной оценки финансовых потерь, учитывающая специфику строительного цикла. Установлено, что компании, внедряющие цифровые технологии без предварительного анализа рисков, сталкиваются с перерасходом бюджета в среднем на 25–30 %.

3. Установлена прямая зависимость между уровнем цифровизации и затратами на кибербезопасность. Оптимальным уровнем затрат на кибербезопасность для компаний с высоким уровнем цифровизации является 15–20 % от бюджета цифровизации.

– Предложены модели страхования цифровых рисков, адаптированные для строительной отрасли, в том числе страхование финансовых потерь от неудачного внедрения цифровых решений и страхование ущерба от кибератак на строительные проекты. Практическая значимость исследования заключается в том, что в нём представлены конкретные рекомендации для строительных компаний по минимизации экономических рисков: начать с пилотных проектов и поэтапного внедрения цифровых технологий, инвестировать в обучение персонала как ключевой элемент снижения рисков, связанных с человеческим фактором, рассматривать страхование как инструмент минимизации финансовых потерь от неудачного внедрения цифровых решений и кибератак, проводить регулярный аудит эффективности цифровых решений с использованием системы цифровой вертикали, обеспечивающей контроль на всех этапах строительного процесса.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективы дальнейших исследований в области экономических рисков цифровой трансформации строительной отрасли включают:

1. Разработка отраслевых стандартов оценки экономической эффективности цифровых решений, адаптированных к специфике строительной отрасли.

2. Исследование влияния экономических рисков цифровизации на устойчивое развитие строительной отрасли в долгосрочной перспективе.

3. Анализ долгосрочных экономических последствий цифровой трансформации для отрасли в целом и отдельных сегментов рынка.

Практические предложения по развитию отрасли включают создание отраслевого центра компетенций по минимизации экономических рисков цифровизации и разработку государственных программ поддержки малых и средних строительных компаний в процессе цифровой трансформации. Это позволит повысить эффективность инвестиций в цифровые технологии и снизить финансовые потери строительных компаний, способствуя устойчивому развитию отрасли в условиях цифровой экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко, А.С. Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли / А.С. Мищенко // Цифровая трансформация. Экономические науки. – 2023. – Т. 29, – № 4. – С. 23–33.

2. Степанов, А. В. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы / А. В. Степанов, М. В. Матвеева, Е. С. Пешкова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 356–366.

3. Чапаев, Н.М. Цифровая трансформация на примере строительной отрасли / Н.М. Чапаев // Прикладные экономические исследования. – 2024. – № 4. – С. 259–264.

4. Ковтун, Е. Н. Цифровизация технологического инжиниринга и реинжиниринга / Е. Н. Ковтун, Р. В. Молчанова // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. – Т. 3. – № 2(134). – С. 17–23.

5. Будагов, А.С. Инновационные технологии проектирования и управления проектами в области цифровой среды / А.С. Будагов, Р.В. Молчанова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 3. – № 9(117). – С. 50–55.

6. Молчанова, Р. В. Инновационные технологии в строительстве / Р. В. Молчанова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2023. – Т. 3. – № 5(137). – С. 136–141.

7. Доля затрат строительной отрасли на цифровизацию составляет всего 1,1 % от общих расходов [Электронный ресурс] // cifrastroy.ru. URL: <https://cifrastroy.ru/reviews/dolja-zatrat-stroitelnoj-otrasli-na-tsifrovizatsiju-vsego-11-ot-obschih-rashodov>

8. Цифровизация строительства. Обзор TAdviser 2023 [Электронный ресурс] // tadviser.ru. URL:

https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровизация_строительства._Обзор_TAdviser_2023

9. Цифровизация строительства в 2025 году: как [Электронный ресурс] // gectaro.com. URL: <https://gectaro.com/blog/tpost/akihyu1of1-tsifrovizatsiya-stroitelstva-v-2025-kak>

10. Цифровой фундамент: как строительная отрасль осваивает технологии [Электронный ресурс] // sber.pro. URL: <https://sber.pro/publication/tsifrovoi-fundament-kak-stroitel'naya-otrasl-osvaivaet-tehnologii/>

11. Цифровизация строительной отрасли: шаги в будущее [Электронный ресурс] // krasnodar.allestate.pro. URL: <https://krasnodar.allestate.pro/news/01.09.2025/cifrovizaciya-stroitelnoy-otrasli-shagi-k-buduschemu>

12. Оптимизация строительства с помощью цифровых решений [Электронный ресурс] // planradar.com. URL: <https://www.planradar.com/cis/optimizaciya-stroitelstva-s-pomoshchyu-cifrovyh-reshenij/>

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE CONSTRUCTION ECONOMY: THE ROLE OF AI IN RISK FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION

¹Boychenko O. V., ²Fadina Yu. Yu.

^{1,2}Physics and Technology Institute, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The article examines the problem of economic risks of digital transformation in the construction industry and proposes methods for their minimization. The research aims to systematize economic risks and develop methods for their minimization. The study employs systemic analysis, statistical data analysis, and case studies of Russian construction companies. As a result, 8 key economic risks have been identified and classified into 4 categories: capital expenditure risks, technology obsolescence risks, software supplier dependency risks, and cybersecurity financial risks. A methodology for quantitative assessment of financial losses has been developed, showing that companies without preliminary risk analysis face budget overruns of 25-30%. A direct correlation between the level of digitalization and cybersecurity costs has been established, with optimal spending for highly digitalized companies being 15-20% of the digitalization budget. Models for insuring digital risks in the construction industry have been proposed. The practical significance of the research lies in providing specific recommendations for minimizing economic risks, including phased technology implementation, investment in staff training, and regular auditing of digital solutions' effectiveness. The findings contribute to improving investment efficiency and reducing financial losses in the digital transformation of construction companies.

Keywords: economic risks of digital transformation, construction industry, capital expenditures, cybersecurity, level of digitalization, risk minimization methods, BIM technologies, phased implementation, ROI (Return on Investment), insurance of digital risks, digital vertical, budget overrun.

Наши авторы

Азаров Валерий Николаевич	д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград
Бойченко Олег Валериевич	д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Болдышева Вероника Константиновна	н. с., ОСП «Институт прикладных исследований» Академии наук Республики Татарстан, г. Казань
Ветрова Наталья Моисеевна	д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Добринская Анастасия Андреевна	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Евдокимов Евгений Евгеньевич	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Жиленко Оксана Борисовна	к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Загидуллина Инна Александровна	к.т.н., учёный секретарь, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань
Зимницкая Александра Олеговна	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Иванова Олеся Олеговна	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Иванова Юлия Павловна	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Кленин Иван Сергеевич	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Коновалов Олег Владимирович	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Маринина Ольга Николаевна	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Маринич Дмитрий Александрович	студент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Мензелинцева Надежда Васильевна	д.т.н., профессор, ВолГУ, г. Волгоград
Одинцов Александр Никитич	к.т.н., доц. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Смазнов Дмитрий Владимирович	магистрант, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Соколова Екатерина Владимировна	к.т.н., доцент, СКФУ, г. Ставрополь
Соловьева Татьяна Викторовна	старший преподаватель, ВолгГТУ, г. Волгоград
Степаненко Константин Станиславович	обучающийся группы ЭИИ-б-о-241, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Фадина Юлия Юрьевна	ассистент, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Храмова Алиса Владимировна	к.э.н., доцент, Российский государственный социальный университет, г. Москва
Цопа Наталья Владимировна	д.э.н., профессор, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Шакиров Тимур Рустамович	к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань
Шаленный Василий Тимофеевич	д.т.н., профессор, профессор ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь

Журнал

ЭСиП № 2 (95) – 2025

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ