

**ЭКОНОМИКА
СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**CONSTRUCTION ECONOMIC
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

№ 3 (96) – 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

№ 3 (96) – 2025

Печатается по решению научно-технического совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол № 12 от 19.12.2025)

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 23.12.2025.

Формат 70 x 100 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 8,04
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	
Бондаренко В.Л., Хецуриани Е.Д., Штавдакер М.И., Добринская А.А. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНЫХ ПОНЯТИЙ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	5
Галиева Г.М., Иванова Л.Э. ЛУГОВОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ ГОРОДА: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)	16
Лейкина Д.К., Лептюхова О.Ю., Чиркова В.А. ГОРОДСКАЯ СРЕДА И БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	22
Раздел 2. Проблемы организации строительства	
Баденко В.Л., Шкильнюк М.А. ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	38
Гиясов Б.И., Шунько А.А., Бондаренко В.-А.А. РОЛЬ УРБАНИЗАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	47
Раздел 3. Экологическая безопасность	
Одинцов А.Н. О ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИ «СЕРОЙ ВОДЫ»	53
Радченко О.П., Добринская А.А., Катеринин К.В., Теплых С.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ	62
Симаков В.С., Шевцов Е.И., Сандула Т.А., Байбусинова О.Р. Постникова Е.А., Сергина Н.М. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ СДУВАЕМОСТИ ПЫЛИ ОТ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	69
Раздел 4. Региональная и отраслевая экономика	
Гришенков Т.В., Бойченко О.В., Остапенко И.Н. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ	79
Ванюшкин А.С., Степаненко К.С. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ ПЕРЕПЛАНИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ	89
Наши авторы	98

CONTENT	
Section 1. Regional problems of environmental management	
Bondarenko V. L., Hetsuriani E. D., Shtavdaker M. I., Dobrinskaya A. A. METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SYSTEM CONCEPTS IN THE USE OF WATER RESOURCES IN IRRIGATION SYSTEMS	5
Galieva G.M., Ivanova L.E. URBAN MEADOW GREENING: ADVANTAGES AND PROSPECTS FOR USING NATIVE PLANTS (CASE STUDY OF UFA, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)	16
Leikina D. K., Leptiyhova O.U., Chirkova V.A. URBAN ENVIRONMENT AND UNMANNED AERIAL VEHICLES: FOREIGN EXPERIENCE	22
Section 2. Problems of construction organization	
Badenko V. L., Shkilniuk. M. A. ASSESSMENT OF THERMAL CHARACTERISTICS OF MULTILAYERED FENCING CONSTRUCTIONS BASED ON THEIR TECHNICAL CONDITION	38
Giyasov B.I., Shunko A.A., Bondarenko V.-A.A. THE ROLE OF URBANIZATION IN FORMING THE ECOLOGY OF THE URBAN ENVIRONMENT	47
Section 3. Environmental safety	
Odintsov A.N. ON THE POSSIBILITY OF SAFE UTILIZATION OF PARTIALLY TREATED "GRAYWATER"	53
Radchenko O.P., Dobrinskaya A.A., Katerinin K.V., Teplykh S.Yu. INVESTIGATION OF WASTEWATER FORMATION IN CONSTRUCTION INDUSTRIES	62
Simakov V.S., Shevtsov E.I., Sandula T.A., Baibusinova O.R., Postnikova E.A., Sergina N.M. METHODOLOGY FOR DETERMINING THE SPECIFIC BLOWABILITY OF DUST FROM BULK MATERIALS	69
Section 4. Regional and sectoral economy	
Grishenok T.V., Boychenko O.V., Ostapenko I.N. APPLYING FUZZY LOGIC TO INVENTORY MANAGEMENT ANALYSIS	79
Vanyushkin A.S., Stepanenko K.S. CONCEPTUAL BASIS OF FORMING SCENARIOS OF TIME RESCHEDULING CONSTRUCTION PROJECTS	89
Our authors	98

Раздел 1. Региональные проблемы природопользования

УДК 631.17:639.3.06

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНЫХ ПОНЯТИЙ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Бондаренко В.Л.¹, Хецуриани Е.Д.^{2,3}, Штавдакер М.И.⁴, Добринская А.А.⁵

^{1,4}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ
346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111;

²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова
346400, Новочеркасск, ул. Просвещения, 139;

³Донской государственный технический университет
344003, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1;

⁵Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

e-mail: ¹nimi.TBiP@yandex.ru, ^{2,3}goodga@mail.ru, ⁴shtawkader.marya@yandex.ru, ⁵sax.nastya@yandex.ru

Аннотация. В современной климатической системе Земли важная роль отводится водным ресурсам, которые занимают 70% земной поверхности – мировым океаном 361 млн. км², а материковой сушей – 149 млн. км². Из-за важности роли водных ресурсов требуется исследование методологии системных понятий в этой области науки.

Цель. Методология использования водных ресурсов, количественные и качественные показатели водного стока формируется в пространственных пределах речных бассейновых геосистем, в общем массиве научного познания процессов формирования и использования в технологических процессах водопотребления и водопользования в отраслях хозяйственной и иной деятельности определило необходимость в рассмотрении основ методологии базовых понятий.

Методы. В методологии использования водных ресурсов в научном и практическом отношении важными являются системные понятия, отражающие свойства и процессы взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения компонентов с входящими в них элементами в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.», в рассматриваемой методологии важными являются базовые понятия, как универсальная мера форм движения и взаимодействия материи – **Энергия**, и её неотъемлемая образная тень – **Энтропия**.

Результаты. Энтропия, как неотъемлемая и важная составляющая в процессах использования водных ресурсов, как природная составляющая в процессах использования водных ресурсов, как природная составляющая обладает свойством изменяться в одном направлении и быть всегда необратимой, что Эддингтон назвал «Стрелой времени», определяющей новые области познания, в частности в использовании водных ресурсов с учётом «экологической приемлемости» в процессах ВВВ «О.Д.» с компонентом «П.С.» и «Н.».

Ключевые слова: Энергия, Энтропия, время, природно-техническая система, экологическая приемлемость, речная бассейновая геосистема.

ВВЕДЕНИЕ

Первая половина XXI столетия характеризуется значительным интересом к актуальности проблемы взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения (ВВВ) Природы и общественного развития, которая неотъемлемо связано с использованием водных ресурсов практически во всех отраслях хозяйственной и иной деятельности. Как известно, вода является основой жизни и началом всех начал [1, 2].

Водные ресурсы, количественные и качественные показатели которых формируются в пространственных пределах речных бассейновых геосистемах, являются доминирующим природным ресурсом в хозяйственной и иной деятельности, потребление которого по массе превышает все остальные ресурсы, вместе взятые более чем на порядок [1, 2].

Пресные воды, которые формируются в пространственных пределах речных бассейновых геосистемах, к примеру, на юге России рек Кубани, Нижнего Дона, Терека составляют порядка 53 км³/год, на который расходуется 40,4 ТВт солнечной энергии и проживает население 18 млн. человек. Использование водных ресурсов практически во всех отраслях хозяйственной и иной деятельности обуславливает собой неотъемлемый интерес практически всех водопотребителей и водопользователей с учетом объективных негативных явлений природного характера (наводнения, подтопления, и т.п.) и современных природоохранных требований, связанных с технологическими процессами в сельскохозяйственном, промышленном производствах, водоснабжении городов и населенных пунктов.

Использование водных ресурсов в многогранных видах хозяйственной и иной деятельности неотъемлемо связано с созданием класса природно-технических систем (ПТС), включающих в себя: природный компонент в виде природной среды («П.С.») в пространственных пределах рассматриваемой речной бассейновой геосистемы, включающей в себя приземные слои (до 10 км) атмосферы, где формируются дождевые и снежные осадки; гидрографическую речную сеть в границе водосборной территории рассматриваемой реки, где формируется поверхностный и подземный водный сток; верхние слои литосферы (глубиной до 300 м.), где формируется подземный сток, выходящий в речную сеть; почвенный покров с подстилающими породами; техногенный компонент в виде объекта деятельности «О.Д.», в виде оросительной системы «О.С.», включающей в себя комплекс различных типов гидротехнических сооружений (ГТС), измерительных гидрометрических устройств расходов воды, влажности почвенного покрова и других необходимых инструментариев, сопутствующих зданий, эксплуатационных дорог и т.п.; социальный компонент «Н» в виде проживающего населения в зонах влияния «О.Д.» на водосборной территории речной гидрографической речной сети бассейновой геосистемы, которые в системном рассмотрении находятся в непрерывной взаимосвязи, взаимодействии, взаимоотношении (ВВВ) в процессах функциональной работы на действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» [3, 4].

В системном рассмотрении процессов функционирования и развития рассматриваемого класса ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в пределах речной бассейновой геосистемы, как свидетельствуют реалии в использовании водных ресурсов, обуславливают определенную теоретическую и практическую значимость. Следует отметить, что действующие ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» многие годы обладают внутренней упорядоченностью и системной организацией, которая проявляется в закономерном движении и взаимодействии компонентов с входящими в них элементами в составе рассматриваемой системы [3, 5, 6].

Исходя из накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации, действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» на речных бассейновых геосистемах рек Кубани, Нижнего Дона, Терека и теоретической значимости данного класса систем уделяется недостаточно, хотя современная проблема **«Воды»**, как возобновляемого ресурса по своей значимости стоит на втором месте между наиболее главными проблемами – **«Энергии»** и **«Пищи»** в глобальной системе «Природа – Общество – Человек». Практическая значимость действующих и создаваемых ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» обуславливается современными экологическими требованиями по обеспечению экологической безопасности («Э.Б.») в зонах влияния «О.Д.», что определяет необходимость в объективной оценке влияния «О.Д.» на природные и социальные элементы в составе «П.С.» и социального компонента «Н.».

В методологии основ системных понятий, отражающих существенные свойства взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения между компонентами и входящими в них элементами в составе рассматриваемой ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» рассматриваются базовые понятия, которые являются важной методологической и теоретической основой в исследовании важных вопросов на действующих и создаваемых ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» связанных с регулированием и использованием водных ресурсов в различных технологических системах сельскохозяйственного производства, к примеру оросительных системах в хозяйственной деятельности [3, 7]. В дальнейшем под техногенным компонентом «О.Д.» следует рассматривать оросительную систему «О.С.»

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Одной из особенностей формирования научного мышления в методологических основах системных понятий класса ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» являются фундаментальные базовые понятия, как универсальная мера форм движения и взаимодействия материи – **Энергии** и ее неотъемлемой образной «тени» **Энтропии, Время, Стрела времени, система и системный подход, целое и целостность, системный анализ** и ряд важных понятий – **необратимость, сложность, структура, элемент, диссипация, бифуркация и флуктуация, самоорганизация, экологическая опасность и экологическая безопасность, экологическая приемлемость и экологическая неприемлемость, главенствующая роль целого, природная и техногенная составляющая, коэволюция** [3, 5].

«Системный подход» и **«Системный анализ»** в методологии системных понятий базируются на центральном понятии **«Система»**, которое принадлежит Аристотелю, а широкое применение этого понятия получило после публикации научного труда Н. Винери под названием **«Кибернетика»** в 1948 году.

В методологии основ системных понятий в классе ПТС «П.С.-О.Д.-Н. базируется на системных принципах – целостности, структурности, взаимозависимости системы от состояния пространственных процессов речной бассейновой геосистемы, где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов, часть из которых отбирается для использования в технологических процессах, иерархичности системы, в которой каждый компонент ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» рассматривается как динамичная система, которая изменяет свое состояние во **Времени** и пространстве, где формируются водные ресурсы [1, 3, 5].

Использование водных ресурсов в научном и методологическом понимании этого процесса обуславливается диалогом с «П.С.» в пространстве и **Времени** речной бассейновой геосистемы. Изучение процессов ВВВ между компонентами с входящими в них элементами в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» создает различие между прошлым до строительства «О.Д.» и будущим в период эксплуатации «О.Д.», к примеру, в виде оросительной системы «О.С.», где происходит восстановление, как неотъемлемый атрибут в методологии создания ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в виде действующей оросительной системы «О.С.». При изучении процессов ВВВ между компонентами с входящими в них элементами в составе действующей ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы, **прошлое** и **будущее**, обуславливающие парадокс **времени**, указывающий на направление **необратимости** приходящих явлений в зонах влияния «О.Д.» при использовании водных ресурсов, каждое из которых иллюстрирует конструктивную роль **Стрелы времени** в виде **необратимости** в происходящих явлениях. **Необратимость**, как установлено, в использовании водных ресурсов на «О.Д.», приводит к когерентности (согласованности во времени) к новым явлениям – эффектам, в зонах влияния «О.Д.».

Различие между **обратимыми** и **необратимыми** процессами вошло через понятие **Энтропия**, связанное со вторым началом термодинамики, которое было определено Р.Ю. Клаузиусом в 1865 году. **Необратимые** процессы производят **Энтропию**, а при **обратимых** процессах **Энтропия** постоянно. Согласно общеизвестной принятой формулировке Р.Ю. Клаузиуса: - **Энергия** мира постоянно, а **Энтропия** мира возрастает в любом процессе преобразования форм **Энергии** [7, 8]. В рассматриваемой речной бассейновой геосистеме, в пространственных пределах которой формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов, часть из которых отбирается на технологические процессы водопотребления на «О.С.», что неотъемлемо обуславливает **необратимые** процессы в природном «П.С.» и социальном «Н» компонентах при взаимодействии их с технологичным компонентом в виде «О.Д.» в виде «О.С.». [3, 6].

Необратимость процессов в формировании водных ресурсов, как на уровне глобальной системы биосферы Земли, так и на локальном уровне речной бассейновой геосистемы происходит за счет потоков солнечной **энергии** (радиации), которая возникает в результате **необратимых** ядерных процессов, протекающих на **Солнце** [5, 7]. На локальном уровне речных бассейновых геосистемах **необратимость** обуславливается процессами формирования водного стока (поверхностного, подземного) в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы, к примеру р. Кубань (рис.1), и частичного его отбора в технологические процессы водопотребления и водопользования на «О.С.».

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной научной статьи является изучение методологии использования водных ресурсов, включая количественные и качественные показатели водного стока (поверхностного и подземного), в пределах речных бассейновых геосистем на энерго-энтропийном базисе.

Для достижения этой цели необходимо: рассмотреть основные понятия, такие как: -**Энергия** и **Энтропия**, **Время**, **Стрела времени**, **система** и **системный подход**, **целое** и **целостность**, **системный анализ** и ряд важных понятий – **необратимость**, **сложность**, **структура**, **элемент**, **диссипация**, **бифуркация** и **флуктуация**, **самоорганизация**, **экологическая опасность** и **экологическая безопасность**, **экологическая приемлемость** и **экологическая неприемлемость**, **главенствующая роль целого**, **природная** и **техногенная составляющая**, **коэволюция**; понять, как эти понятия связаны с процессами формирования и использования водных ресурсов в различных отраслях; определить важность учета количественных и качественных показателей водного стока для эффективного управления водными ресурсами.

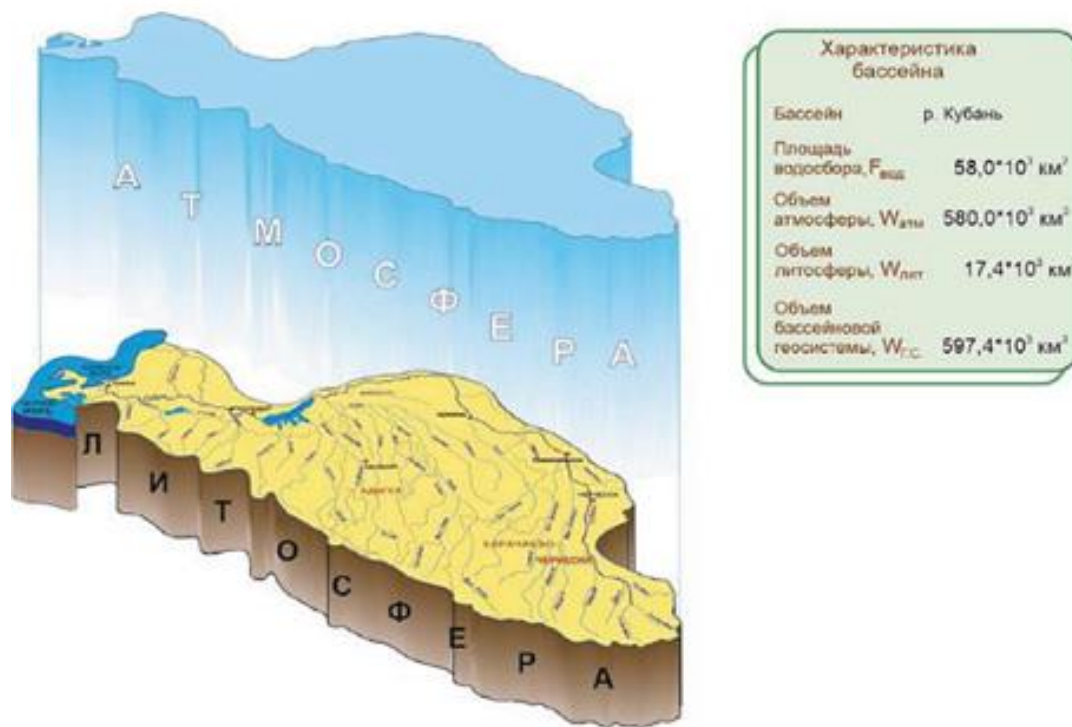


Рис. 1. Бассейновая геосистема Кубани

Авторы ставят перед собой задачу исследовать взаимосвязь между методологией использования водных ресурсов и научными концепциями, такими как: Энергия и **Энтропия**, время и стрела времени, системный подход и целостность, необратимость и обратимость процессов, сложность и самоорганизация, Экологическая приемлемость, а также рассмотреть природную и техногенную составляющие в использовании водных ресурсов.

Таким образом, изучение методологии использования водных ресурсов требует комплексного подхода, учитывающего как количественные, так и качественные аспекты водного стока, а также взаимосвязь с различными научными концепциями и практическими аспектами хозяйственной деятельности.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В методологии системных понятий использования водных ресурсов, как свидетельствуют результаты многолетних исследований, на действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в бассейнах рек Кубани, Нижнего Дона, Терека весьма важным является конструктивная роль **необратимости**, которая приводит к особым формам **когерентности** в процессах ВВВ между компонентами с входящими в них элементами в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.».

Установлено, что **необратимые** процессы играют фундаментальную, конструктивную роль в природных элементах природного компонента «П.С.» рассматриваемой речной бассейновой геосистемы, где ведутся практически все виды хозяйственной и иной деятельности и формируются водные ресурсы [7].

В методологии основ системных понятий в использовании водных ресурсов важным понятием является – **сложность**, которое входит составной частью в порождаемые проблемы при использовании водных ресурсов на «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.». Как установлено системными комплексными экологическими исследованиями (СКЭИ) на действующих «О.Д.» речных бассейновых геосистем рек Кубани, Нижнего Дона, Терека – это зависимость от природных характеристик водосборной территории речной гидрографической сети, гидрологических процессов, поверхностного водного стока и гидрогеологических процессов в верхних слоях

литосферы подземного стока, выходящего в речную сеть, характера размещения КГТС на гидрографической речной сети и их конструктивных особенностей, от социального компонента «Н» в зонах влияния техногенного компонента «О.Д.» и других факторов.

Понятие **сложность** является одним из понятий, которые входят составной частью в порождаемые ими проблемы, связанные внутрибассейновым регулированием или межбассейновым перераспределением водного стока путем создания водохранилищных гидроузлов, что неотъемлемо затрагивает эволюционные процессы в природном компоненте «П.С.» [9, 10].

В методологии познания понятия **сложность** в составе действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» как установлено, в рассматриваемом природном компоненте «П.С.» наблюдаются неустойчивые процессы в движении потоков **вещества, энергии, информации (ВЭИ)** и в жизнедеятельности биоты, речной ихтиофауны, различные виды неустойчивости и флуктуации, обуславливающие разнообразие и богатство форм и структур, которые возникают при создании и эксплуатации «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.».

Системные понятия – **сложность, когерентность, упорядоченность** на действующих «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» являются фундаментальными. **Когерентность** на действующих «О.Д.» обуславливает собой постоянное во времени соотношение между элементами (биотическими и абиотическими) природного компонента («П.С.»), техногенного компонента «О.Д.» в виде комплекса ГТС, оборудования и потребностями социального компонента «Н» в водных ресурсах, отбираемых из водного объекта речной гидрографической сети [5,11], которая является элементарным элементом в глобальной климатической системе Земли, в которой водные ресурсы занимают 70% земной поверхности: - Мировым океаном (361 млн. км²), а материковая суша занимает 149 млн. км², в которой реками переносится водный сток порядка 45,8 тыс.км³.

В методологии системных понятий в использовании водных ресурсов на оросительных системах «О.С.» в составе действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» одним из базовых понятий является **целостность**, определяющая собой **главенствующую роль целого над частями** – природного «П.С.», техногенного «О.Д.» и социальным «Н» компонентами с входящими в них элементами на стадии строительства и эксплуатации «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.».

Системный принцип – **целостности**, обуславливающий собой несводимость свойств системы и сумме свойств составляющих ее компонентов с входящими в них элементами, зависимость каждого компонента и его места, функции и т.д. в составе действующей ПТС «П.С.-О.Д.-Н.»; **структуры** (возможность описания системы, обусловленность поведения системы в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы); **взаимозависимость** системы и окружающей среды в зонах влияния «О.Д.» в пределах речной бассейновой геосистемы [3-5].

Системная **целостность** действующих «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.- О.Д.» в пределах речных бассейновых геосистемы рек Кубани, Нижнего Дона, Терека, как установлено СКЭИ определяется рядом системных показателей [3, 9, 10]:

- процессами самоорганизации;
- открытостью к окружающей «П.С.» в пространственных пределах рассматриваемой речной бассейновой геосистемы;
- ростом возможности влиять на окружающую внешнюю среду;
- отражением объективной реальности при функционировании «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.»;
- потенциальной возможностью повышения КПД в функционировании «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.»;
- обеспечение устойчивой тенденции роста эффективности использования природных ресурсов и снижения темпов роста использования энергопотребления.

- обеспечение устойчивой тенденции роста эффективности использования водных ресурсов при орошении с/х культур и снижением энергозатрат.

Процессы самоорганизации на действующих «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» подразделяется три типа:

- самозарождение организации или возникновение из некоторой совокупности целостных объектов определенного иерархического уровня в виде комплекса регулирующих, водозаборных водопроводящих сооружений, дождевальная техники со своими специфическими конструктивными свойствами;

- процессы, связанные с обеспечением определенного уровня организации при изменении внешних и внутрисистемных условий её функционирования;

- третий тип процессов самоорганизации связан с совершенствованием процессов функционирования «О.Д.» с учетом внедрения новых конструктивных элементов в составе «О.Д.» и опыта самоорганизации.

Термин самоорганизующаяся система введен английским ученым У.Р. Эшби (1947 г.). Для рассматриваемых ПТС «П.С.-О.Д.-Н.», в которых центральным техногенным компонентом является «О.Д.» [3, 9, 10].

На основе результатов СКЭИ на действующих «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в пределах речных бассейновых геосистем рек Кубани, Нижнего Дона, Терека, можно сделать важный вывод, что самоорганизация в зонах влияния «О.Д.» осуществляется целенаправленными процессами, в протекании которых происходит преобразование по упорядочению, усложнению существующих и формированию новых взаимосвязей, взаимодействию, взаимоотношений между компонентами «П.С.», «О.Д.», «Н.» и входящими в них элементами в пространстве и времени речной бассейновой геосистемы.

Востребованность «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» определяется **экологической приемлемостью** комплекса различных типов сооружений с входящими в них конструктивными элементами, а также жизненно необходимой потребностью социального компонента «Н.». [6, 12].

Экологическая приемлемость «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.», как установлено **СКЭИ**, определяется конструктивным совершенством всех типов сооружений (водозаборных, водотранспортирующих), дождевальных машин с входящими в них элементами и способностью к процессам самоорганизации в активных зонах влияния «П.С.» под воздействием «О.Д.» [6, 12]. Важно отметить, что **экологическая приемлемость** «О.Д.», как свидетельствуют результаты **СКЭИ** на действующих «О.Д.», способствуют доминированию естественных процессов преобразования в природном компоненте «П.С.» и, как следствие, снижению темпов роста уровня **Энтропии** в пространстве и времени зон влияния «О.Д.». Оценка уровня экологической приемлемости «О.Д.» в составе действующей ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» определяется на основе результатов **СКЭИ** в периоды строительства и эксплуатации «О.Д.» с учетом инженерно-экологических изысканий на стадии проектирования [13-15].

Рассматривая пространственные пределы речной бассейновой геосистемы, как элемента в составе биосферы Земли ($W_{б.з.} = 10^{10}$ км³), где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов в виде поверхностного и подземного водного стока под воздействием непрерывных потоков солнечной **Энергии** [6, 7, 16]. Исходя из показателя расхода солнечной **Энергии**, как первоисточника **Энергии** на Земле, на формирование одного кубокилометра воды, выпадающего в виде осадков на земную поверхность водосборной территории бассейновых геосистем рек Кубани, Нижнего Дона, Терека расходуется порядка **0,022 ТВт**. [4].

Над всем, что совершается в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы, в потоке приходящего времени властвует **Энергия**, как царица мира, озаряя своим светом и былинку в поле, и окружающее пространство в одном месте даря, в другом отнимая, но сохраняясь в целом количественно неизменной. Но в месте, где властвует **Свет**, там неотъемлемо находится **Тень**, имя которой – **Энтропия** [7]. Количество **Энергии** при превращении ее видов обуславливает собой закон сохранения количества **Энергии** (1845-1847 гг.). Количество **Энергии** всегда пропорционально количеству той формы **Энергии**, в которую она переходит. Различают два способа перехода **Энергии** – совершение работы и теплообмен. Изменение **Энергии** на действующей системе определяется только разностью её значений на входе и выходе из рассматриваемой системы (рис. 2) в создаваемых и действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.», в которых происходит преобразование, к примеру, для создания необходимого водного напора в системе подводящих трубопроводов дождевальных машин. Энергия является функцией состояния ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» и связывает воедино все явления, происходящие в процессах формирования водных ресурсов в пределах речной бассейновой геосистемы и частичного их использования на действующих «О.Д.» в виде «О.С.». [4, 17].

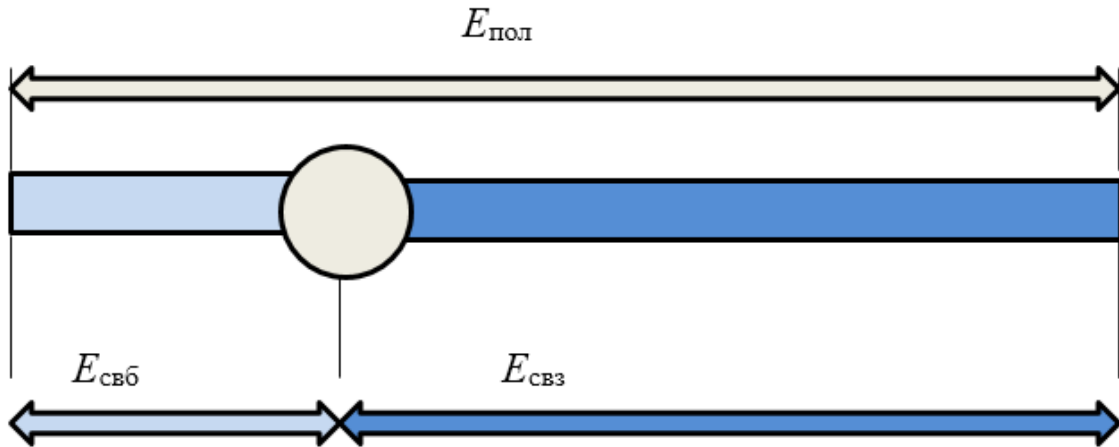


Рис. 2. Системный баланс частей полной Энергии $E_{пол.}$ на входе в систему, в которой $E_{свз.}$ отражает уровень Энтропии

С понятием «Энергия» энергетическом балансе действующей ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» присутствует вторая часть от полной Энергии ($E_{пол.}$) – связанная часть Энергии ($E_{свз.}$), которая снижает функциональную эффективность системы, выражаемую коэффициентом полезного действия (КПД) использования свободной части Энергии ($E_{свб.}$), который определяется выражением:

$$\eta = \frac{E_{свб}}{E_{пол}} \leq 1$$

Следует отметить, что показатель КПД в рассматриваемой ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» определяется балансовым соотношением свободной части Энергии ($E_{свб}$) и связанной части Энергии ($E_{свз}$), представленной на рисунке 2.

Исходя из естественной взаимосвязи Энергии и Энтропии на примере действующей «О.С.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» закон возрастания Энтропии выполняет роль директора, предписывающего вид и направление сделок, который сводит кредит и дебит [5-7]. Только на этом фоне имеется возможность проследить процесс неотъемлемой взаимосвязи Энергии и Энтропии на действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в рассматриваемом пространстве речной бассейновой геосистемы, где Энергия, как обобщенная мера движения материи выступает в виде влагооборота в рассматриваемом животном и растительном мире в природном и техногенных технологических процессах под воздействием направленных потоков солнечной Энергии, а Энтропия выступает как мера рассеяния Энергии. Следует отметить, что важнейшей термодинамической характеристикой природных систем (от микроорганизма до биосферы Земли) к каковым относится «П.С.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» — это способность создавать и поддерживать внутреннюю упорядоченность с естественным уровнем Энтропии, как неотъемлемой и важной составляющей в процессах использования водных ресурсов. Энтропия обладает свойством изменяться в одном направлении и быть всегда необратимой, что Эддингтон назвал «Стрелой времени» [7], определяющая собой направление, в котором открываются новые области познания, к примеру, по обеспечению экологической приемлемости в конструктивных решениях техногенного компонента в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» и технологических процессах водораспределения оросительной воды на «О.С.» [18, 19].

В открытых системах, к которым относятся ПТС «П.С.-О.Д.-Н.», окружающая «П.С.» в зонах влияния техногенного компонента в виде «О.Д.» в пространственных пределах речной бассейновой геосистемы происходят процессы обмена веществ, Энергии, информации (В.Э.И.) с развитием механизма самоорганизации внутренних структурных образований и экологической приемлемости в конструктивных элементах техногенного компонента «О.Д.». Между компонентами и входящими в них элементами количественно измеряются физические формы движения и взаимодействия водного потока (поверхностного, подземного) в зонах влияния «О.Д.», где Энтропия характеризует меру упорядоченности в процессах регулирования водного стока, отбора расчетных расходов (Q_m^3/c) воды

на «О.С.» из водного объекта с обеспечением сохранения биоресурсов и её транспортирование на действующие дождевальные машины, которые выполняют обеспечение норм подачи оросительной воды в корневую систему орошаемых культур (кукуруза, томаты и др.) [7, 8].

Энтропия, что скрывается под этим понятием? Людвиг Больцман предложил вероятностную форму физического смысла в понятии **Энтропия**: Царица мира – это **Энергия**, а её воображаемой тенью является **Энтропия**, которая неотъемлемо следует за ней. С появлением научных знаний, связанных с кибернетикой и теорией информации понятие **Энтропии**, связанное с хаотичным движением молекул нагретой воды, стало включать в себя мутации генов и взаимодействие структурных образований в системах, связанных с использованием водных ресурсов, к примеру, на орошаемых землях в сельскохозяйственном производстве [20-22]. Для оптимального водоснабжения растений на «О.С.» важным является согласованность водного режима с основными факторами жизнедеятельности растений, которые обуславливаются законом равнозначности действующих факторов и незаменимости одного другим. Использование только этих факторов позволяет снизить энергозатраты и, соответственно, снизить темпы роста **Энтропии**.

Исходя из неотъемлемой взаимосвязи **Энергии** и **Энтропии** на действующих «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в рассматриваемом пространстве речной бассейновой геосистемы оптимизация водного режима в активном слое почвенного покрова на орошаемом участке, как конечного водопотребления, достигается путем обоснования режимов полива с учетом условий увлажнения активного слоя почвы на глубину расположения основной массы корневой системы с/х культуры, при этом необходимо учитывать, что водный режим с/х культуры системно взаимосвязан с содержанием влаги в окружающей «П.С.», в приземных слоях атмосферы и почвенном покрове. Следует отметить, что энтропийностью обладает любой творческий процесс, к примеру, совершенствование конструктивных элементов в составе техногенного компонента «О.Д.» на водозаборном сооружении по защите от попадания молоди ихтиофауны (рыб различных видов) в технологическую систему «О.Д.», что способствует снижению темпов роста **Энтропии** и **экологической приемлемости** техногенного компонента «О.Д.» в составе ПТС «П.С.-О.Д.-Н.». [7-9].

ВЫВОДЫ

В методологии основ системных понятий, отражающих существенные свойства взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения (ВВВ) между компонентами с входящими в них элементами, в составе действующих ПТС «П.С.-О.Д.-Н.» в пространственных пределах, на примере, речных бассейновых геосистем рек Кубани, Нижнего Дона, Терека – на основе результатов накопленного опыта СКЭИ в зонах влияния «О.Д.», важными является фундаментальные системные понятия, как универсальная мера форм движения и взаимодействия материи : **Энергия** и её неотъемлемая образная тень **Энтропия**, **Время**, **Стрела времени**, **система**, **системный подход**, **целостность**, и **ряд важнейших понятий – необратимость, сложность, структура, элемент, самоорганизация, экологическая приемлемость, главенствующая роль целого, природная и техногенная составляющая**, из которых **Энтропия**, как важнейшая составляющая в процессах использования водных ресурсов на орошаемом участке, как конечного водопотребителя, обладает свойством изменяется в одном направлении и быть всегда **необратимой**, что Эддингтон назвал **«Стрелой времени»**, определяющей собой направление в котором открываются новые области познания, в использовании водных ресурсов с учетом **экологической приемлемости** по обеспечению устойчивой тенденции к снижению темпов роста **Энтропии** путем использования новых конструктивных и технологических решений на основе достижений в области фундаментальных, прикладных наук и опыта эксплуатации «О.Д.» в виде «О.С.».

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективы дальнейших исследований в методологии использования водных ресурсов требуют углубленного анализа системных понятий, отражающих взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения (ВВВ) между компонентами природно-технических систем (ПТС). На примере речных бассейновых геосистем рек Кубани, Нижнего Дона и Терека, важно учитывать следующие аспекты:

1. Системный подход и целостность:

- Разработка моделей ПТС, включающих природные и техногенные компоненты.
- Анализ целостности систем и выявление ключевых связей между элементами.

2. Энергия и Энтропия:

- Исследование влияния энергетических процессов на водные ресурсы.
- Оценка энтропийных изменений в водных системах и их последствий для управления ресурсами.

3. Время и его направленность:

- Анализ временных изменений в водных ресурсах и их динамики.
- Разработка прогнозов и сценариев развития водных систем.

4. Обратимость и необратимость процессов:

- Исследование обратимых и необратимых процессов в водных системах.
- Оценка влияния необратимых процессов на управление водными ресурсами.

5. Сложность и самоорганизация:

- Изучение сложных процессов в водных системах и их самоорганизации.
- Применение концепций самоорганизации для управления водными ресурсами.

6. Экологическая приемлемость:

- Оценка экологического состояния водных ресурсов и их использования.
- Разработка экологически приемлемых методов управления водными ресурсами.

7. Природная и техногенная составляющие:

- Анализ природных и техногенных факторов, влияющих на водные ресурсы.
- Разработка стратегий минимизации негативного воздействия техногенных факторов.

8. Структура и элемент:

- Изучение структуры водных систем и их элементов.
- Оценка влияния структурных изменений на водные ресурсы.

Таким образом, дальнейшее исследование водных ресурсов требует комплексного подхода, включающего системный анализ, учет энергетических и энтропийных процессов, временных изменений и экологических факторов. Разработка методологических основ и стратегий управления водными ресурсами позволит обеспечить их устойчивое использование и сохранение для будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко, В. Л. Природообустройство: территории бассейновых геосистем [Текст] / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин, В. В. Гутенев и др., под общей редакцией И. С. Румянцева. – Ростов-на-Дону : Издательский центр "МарТ", 2010. – 528 с.
2. Будыко, М. И. Глобальная экология [Текст] / М.И. Будыко, А.Б. Авакян. – Москва : Мысль, 1977. – 327 с.
3. Бондаренко, В.Л. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем [Текст] : [монография] / В. Л. Бондаренко, Е. А. Семенова, А. В. Алиферов, О. В. Клименко, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ [и др.]. - Новочеркасск [и др.] : ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 199 с.
4. Гед, Р. Дейвис. Энергия для планеты Земля [Текст] / Р. Дейвис Гед // В мире науки. – 1990. – № 11. – С. 7–16.
5. Бондаренко, В. Л. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем [Текст] : [монография] / В. Л. Бондаренко, А. И. Блясов, Е. Д. Хецуриани // - Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2019. – 353 с.
6. Khetsuriani, E. D. The conceptual framework of time concept in assessing the environmental status in water facilities' influence zones / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Ilyasov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" (CATPID-2020), Nalchik, 26–30 сентября 2020 года.– Nalchik: Institute of Physics Publishing, 2020. – Vol. 913. – P. 052063.
7. Бондаренко, В. Л. Основы энергоэнтропийной методологии в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем [Текст]: монография / В. Л. Бондаренко,

А. И. Блясов, В. А. Волосухин и др. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова Донской ГАУ, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2024. – 266 с.

8. Одум, Юджин П. Основы экологии : перевод с 3-го английского издания [Текст] / Ю. Одум; под редакцией и с предисловием доктора биологических наук Н. П. Наумова. – Москва : Мир, 1975. – 740 с.

9. Кузнецов, О. Л. Система Природа - общество - человек: устойчивое развитие [Текст] / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков; Гос. науч. центр Рос. Федерации ВНИИгеосистем, Междунар. ун-т природы, о-ва и человека "Дубна". – Москва ; Дубна : Ноосфера, 2000. – 390 с.

10. Николис, Грегуар. Познание сложного : Введение [Текст] / Г. Николис, И. Пригожин; Пер. с англ. В. Ф. Пастушенко. – М. : Мир, 1990. – 342 с.

11. Черняев, А.М. Водно-ресурсный потенциал = Water resource potential : Water resource potential : [Монография] / А.М. Черняев, М.П. Дальков, Н.Б. Прохорова и др; Под науч. ред. А.М. Черняева; М-во природ. ресурсов Рос. Федерации. Рос. науч.-исслед. ин-т комплекс. использования и охраны вод. ресурсов (ФГУП РосНИИВХ). – Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2000. – 419 с.

12. Бондаренко, В.Л. Основы энерго-энтропийной методологии в классе природно-технических систем «природная среда - объект деятельности - население» [Текст] / В.Л. Бондаренко, А. И. Блясов, Е. Д. Хецуриани [и др.] // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 55 - 73.

13. Пригожин, И. Порядок из хаоса : Новый диалог человека с природой [Текст] / И. Пригожин, И. Стенгерс; Перевод с англ. Ю. А. Данилова; Общ. ред. и послесл. В. И. Аршинова и др. – М. : Прогресс, 1986. – 431 с.

14. Румянцев, И. С. Использование методов инженерной биологии в практике гидротехнического и природоохранного строительства [Текст] / И. С. Румянцев, Р. К. Кромер; Под ред. Румянцева И. С. – М. : Моск. гос. ун-т природообустройства, 2003. – 259 с.

15. Шмаль, А. Г. Национальная система экологической безопасности : (методология создания) [Текст] / А. Г. Шмаль. - Бронницы : БН-ТВ, 2004. – 199 с.

16. Седов, Е. А. Одна формула и весь мир [Текст] : Кн. об энтропии / Е. А. Седов; [Послесл. Д. С. Конторова]. – М. : Знание, 1982. – 175 с.

17. Будыко, М. И., Дроздов О. А. О влагообороте на ограниченной территории суши / М. И. Будыко, О. А. Дроздов // Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения [Сборник статей], Под ред. Н. А. Багрова; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете министров СССР. – Ленинград : Изд-во и 2-я типолит. Гидрометеоздата, 1950. – 84 с.

18. Россия: Водохозяйственное устройство [Текст] / под науч. ред. А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: Изд-во «Агрокосмозология», 1999. – 400 с.

19. Россия: речные бассейны [Текст] / под науч. ред. А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: Изд-во «Агрокосмозология», 1999. – 340 с.

20. Захаров, Р. Ю. Управление водохозяйственно-мелиоративным комплексом Республики Крым в условиях дефицита водных ресурсов [Текст] / Р. Ю. Захаров, Т. В. Зуева, Е. С. Шароварина // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 3(72). – С. 71 - 75.

21. Горбатьюк, Н. В. Особенности использования водных ресурсов на территории Нижнегорского района [Текст] / Н. В. Горбатьюк, Н. В. Кучерук // Экономика строительства и природопользования. – 2017. – № 1(62). – С. 44 - 49.

22. Семенова, Е.А. Методологические основы развития специализированного типа природно-технических систем использования водных ресурсов [Текст] / Е. А. Семенова, В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, М. И. Штавадакер // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 2(79). – С. 63-73.

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SYSTEM CONCEPTS IN THE USE OF WATER RESOURCES IN IRRIGATION SYSTEMS

¹Bondarenko V. L., ^{2,3}Hetsuriani E. D., ⁴Shtavdaker M. I., ⁵Dobrinskaya A. A.

^{1,4}Novocherkassk Engineering and Melioration Institute named after A.K. Kortunov Donskoy State Agrarian University

²Platov South Russian State Polytechnic University (NPI)

³Don State Technical University

⁵Volgograd State Technical University

Annotation. In the modern climate system of the Earth, an important role is assigned to water resources, which occupy 70% of the earth's surface – the world ocean is 361 million km², and the mainland is 149 million km². Due to the importance of the role of water resources, a study of the methodology of systemic concepts in this field of science is required.

Goal. The methodology of water resources use, quantitative and qualitative indicators of water runoff are formed within the spatial limits of river basin geosystems, and in the general body of scientific knowledge of the processes of formation and use in technological processes of water consumption and water use in economic and other industries, it has determined the need to consider the fundamentals of the methodology of basic concepts.

Methods. In the methodology of using water resources, system concepts are important from a scientific and practical point of view, reflecting the properties and processes of interrelation, interaction and interrelation of components with their constituent elements in the TCP "PS-O.D.-N." In the methodology under consideration, basic concepts are important as a universal measure of the forms of motion and interaction of matter – Energy, and its inherent figurative shadow is Entropy.

Results. Entropy, as an integral and important component in the processes of using water resources, as a natural component in the processes of using water resources, as a natural component has the property of changing in one direction and always being irreversible, which Eddington called the "Arrow of Time", defining new areas of knowledge, in particular in the use of water resources, taking into account "environmental acceptability" in the BBB processes, "O.D." with the component "P.S." and "N."

Key words: energy, entropy, time, natural and technical system, ecological acceptability, river basin geosystem.

УДК 712.4

ЛУГОВОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ ГОРОДА: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

Галиева Г.М.¹, Иванова Л.Э.²

¹Экономический факультет, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»,
450001, г. Уфа, у. 50-летия Октября, 34, e-mail: guzelgalieva2016@yandex.ru

²Факультет агротехнологий и лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»,
450001, г. Уфа, у. 50-летия Октября, 34, e-mail: лана.ива805@gmail.com.

Аннотация. В условиях роста интереса к природным экосистемам и устойчивому развитию городов всё большее значение приобретает использование луговых растений местной флоры в озеленении. Цель работы – обосновать использование луговых растений местной флоры для озеленения города Уфы. В статье на основе изучения научной литературы и расчета экономической эффективности определены преимущества внедрения луговых сообществ на территории города Уфы с учётом региональных природно-климатических особенностей. Отмечается, что применение таких видов как: овсяница луговая (*Festuca pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*) и василёк луговой (*Centaurea jacea*) способствует формированию устойчивых фитоценозов, не требующих частого полива и стрижки. Проведено сравнение луговых композиций с традиционными газонными покрытиями и цветниками из однолетников. Показано, что луговое озеленение отличается большей биологической устойчивостью, экономичностью и декоративностью в течение всего сезона. Кроме того, луговые посадки положительно влияют на биоразнообразие, создавая среду обитания для насекомых-опылителей и мелких животных. В работе приведены рекомендации по выбору растений, этапам закладки и уходу за луговыми участками. Делается вывод о необходимости более широкого внедрения природных типов озеленения в городскую среду Уфы, что позволит сократить эксплуатационные затраты и улучшить экологическое состояние территорий. Новизна исследования заключается в обосновании необходимости более широкого внедрения природных типов озеленения в городскую среду на примере г. Уфы.

Ключевые слова: луговые растения; экодизайн; устойчивое озеленение; биоразнообразие; природные экосистемы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные города всё чаще сталкиваются с проблемами ухудшения экологической обстановки, перегрева воздуха в летний период и снижения биологического разнообразия. В этих условиях вопросы озеленения приобретают особую актуальность, ведь именно растительные сообщества способны смягчать негативное воздействие урбанизации [1]. Одним из современных и экологичных направлений в благоустройстве является использование луговых растений, которые формируют устойчивые и самоподдерживающиеся фитоценозы [2]. В отличие от традиционных газонов и цветников, требующих постоянного ухода, полива и стрижки, луговое озеленение основано на естественных процессах роста и взаимодействия растений, характерных для местной флоры. [3]. В городе Уфе и на территории Башкортостана наблюдается богатое разнообразие луговых видов, хорошо адаптированных к местным климатическим условиям [4]. Это такие растения, как клевер луговой (*Trifolium pratense*), василёк луговой (*Centaurea jacea*) и другие, которые могут стать основой устойчивых природных композиций. Их использование позволяет не только повысить эстетическую привлекательность городских территорий, но и сохранить природные экосистемы региона [5].

Актуальность темы заключается в необходимости поиска новых подходов к озеленению, сочетающих красоту, экологическую ценность и экономичность [11]. Луговое направление в этом смысле представляет собой компромисс между природой и городом, позволяя создавать гармоничное пространство, близкое к естественному ландшафту.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Условия и материалы исследования. Реализация лугового озеленения в городской среде требует продуманного подхода, сочетающего экологические, декоративные и эксплуатационные аспекты [6]. Одним из основных этапов является выбор территории, наиболее подходящей для внедрения лугового типа растительности. Наиболее эффективно такие участки закладывать на

откосах, в парках, во дворах жилых домов и на территории образовательных учреждений [7]. Важно, чтобы место было хорошо освещённым и не подверженным застою влаги.

Следующим шагом является анализ почвенно-климатических условий и подбор ассортимента растений. В условиях Уфы рекомендуется использовать виды местной флоры, устойчивые к засухе, вытаптыванию и перепадам температур. Подобранные растения – овсяница луговая (*Festuca pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*) и василёк луговой (*Centaurea jacea*) – не только хорошо приживаются, но и сохраняют декоративность с весны до осени.

При создании лугового покрытия используется смесь семян, которую высевают вручную или механизированным способом [8, 9]. После посева участок прикатывают и слегка поливают для обеспечения контакта семян с почвой. В дальнейшем уход сводится к минимуму: одно скашивание в конце сезона и контроль агрессивных сорняков [10].

Особое внимание уделяется экологическому эффекту. Луговые сообщества способствуют сохранению биоразнообразия, создают места обитания для пчёл, шмелей и бабочек, а также улучшают микроклимат и снижают запылённость воздуха. Для городов с континентальным климатом, таких как Уфа, луговое озеленение становится рациональной альтернативой традиционным газонам, снижая затраты на полив и уход.

Методы и особенности посадки луговых растений. Для успешного создания лугового участка важно правильно подобрать не только виды растений, но и способ их размещения (таблица 1).

Таблица 1.
Подбор луговых растений для озеленения

№ п/п	Русское название	Латинское название	Группа	Роль в сообществе
1	Овсяница луговая	<i>Festuca pratensis</i>	Злак	Формирует основу травостоя, укрепляет почву
2	Клевер луговой	<i>Trifolium pratense</i>	Бобовые	Обогащает почву азотом, привлекает опылителей
3	Тысячелистник обыкновенный	<i>Achillea millefolium</i>	Астровые	Устойчив к засухе, длительное цветение
4	Колокольчик раскидистый	<i>Campanula patula</i>	Колокольчиковые	Декоративный элемент, создаёт вертикальную структуру
5	Василёк луговой	<i>Centaurea jacea</i>	Астровые	Яркие цветочные акценты, устойчив к нагрузкам

Луговое сообщество формируется постепенно, поэтому необходимо создать условия, близкие к природным. Основой участка служит умеренно плодородная, хорошо дренированная почва, не переувлажнённая и не слишком насыщенная удобрениями. Перед посевом почву перекапывают на глубину около 20 см, удаляют сорняки и выравнивают поверхность. Чтобы смесь семян распределялась равномерно, их перемешивают с сухим песком (1:3). Оптимальные сроки посева – конец апреля – начало мая или под зиму (октябрь). Семена заделываются неглубоко: злаки чуть глубже, мелкосемянные почти по поверхности. После посева участок умеренно поливают.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данного исследования – обосновать использование луговых растений местной флоры для озеленения города Уфы.

Задачи работы включают:

- выявление адаптированных видов растений;
- изучение подходов их внедрения;
- сравнение эффективности данного вида озеленения с традиционными методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экономическая эффективность. Представлен проект для г. Уфа по переходу на систему озеленения луговыми растениями местной флоры. Финансовая часть реализации проекта по озеленению дорожек многолетними луговыми растениями складывается из двух блоков: первоначальные затраты (однократно, на этапе закладки) и текущие ежегодные расходы (на уход и поддержание).

Таким образом, при вложениях около 600 тысяч рублей на пилотный участок в 500 м², проект начинает окупаться уже со второго-третьего года за счёт экономии на уходе (таблица 2). По сравнению с газонами и однолетними цветниками многолетние медоносы более устойчивы, дешевле в эксплуатации и при этом приносят дополнительную экологическую и социальную ценность.

Система лугового озеленения трансформирует участок в саморегулирующуюся экосистему, улучшая городскую среду. Замена традиционных газонов на систему луговых растений демонстрирует синергетический эффект.

Таблица 2.
Сравнительный анализ затрат на озеленение

Статья затрат	Луговые многолетники	Традиционный газон	Сравнительный анализ
Первоначальные затраты	632 000 руб.	325 000 руб.	Затраты выше на 94% из-за дорогого посадочного материала и комплексных работ по закладке
Посадочный материал	59 000 руб.	15 000 руб.	Выше в 3,9 раза - многолетняя рассада дорожке семян газонных трав
Удобрения и подготовка почвы	5 000 руб.	25 000 руб.	Ниже на 80% - требуется менее интенсивная подготовка
Земляные работы	15 000 руб.	100 000 руб.	Ниже на 85% - не требуется тщательное выравнивание как для укладки рулонного газона
Рабочая сила (закладка)	502 500 руб.	150 000 руб.	Выше в 3,4 раза - сложность посадки разнообразных многолетников
Водоснабжение (первый год)	12 500 руб.	50 000 руб.	Ниже на 75% - адаптированные растения требуют меньше полива
Система автополива	275 000 руб.	200 000 руб.	Выше на 38% - более сложная конфигурация для разнородных посадок
Ежегодные затраты	280 000 руб.	450 000 руб.	Экономия 38% (170 000 руб.) - многолетники требуют минимального ухода после укоренения
Удобрения и подкормки	5 000 руб.	30 000 руб.	Ниже на 83% - естественная экосистема не требует интенсивной подкормки
Рабочая сила	230 000 руб.	360 000 руб.	Ниже на 36% - не требуется регулярная стрижка и аэрация
Водоснабжение	25 000 руб.	60 000 руб.	Ниже на 58% - глубокие корни многолетников устойчивы к засухе
Обслуживание автополива	20 000 руб.	20 000 руб.	На одном уровне - аналогичные затраты на техническое обслуживание
Период окупаемости	2-3 года	-	С 4-го года чистая экономия 170 000 руб./год

Экологическая эффективность. Переход от традиционных газонов и однолетних цветников к луговым сообществам из местных растений представляет собой качественно новый подход к городскому озеленению, обладающий комплексной экологической эффективностью. В отличие от монокультурных посадок, луговые формируют устойчивые экосистемы, способные к саморегуляции и воспроизводству (таблица 3).

Таблица 3.

Сравнительный анализ экологической эффективности различных систем озеленения

Экологический параметр	Луговые многолетники	Традиционный газон	Сравнительный анализ
Биоразнообразие	Высокое (несколько видов): клевер луговой, василёк луговой, тысячелистник обыкновенный, овсяница луговая, колокольчик раскидистый	Низкое (2-3 вида) Монокультурные посадки	Преимущество 85% - формирование устойчивых трофических цепей и привлечение опылителей
Засухоустойчивость	Высокая: глубокая корневая система (1,5-2 м), не требовательность к поливу	Низкая: поверхностная корневая система, требовательность к поливу	Эффективность выше в 3-4 раза – использование влаги из глубоких горизонтов почвы
Морозостойкость	Высокая: адаптация к местным условиям, устойчивость к перепадам температур	Средняя: требует дополнительной защиты, чувствительность к вымерзанию	Надежность выше на 60% - естественная акклиматизация видов
Ветроустойчивость	Высокая: плотный травостой, глубокая якорная система	Средняя: выдувание и повреждение дернины	Защитная функция на 40% выше - создание ветрозащитного барьера
Пылеулавливание	Интенсивное: многоярусная структура, высокая листовая поверхность	Ограниченное: однородная поверхность, низкая фильтрующая способность	Эффективность выше в 2,5 раза - задержание аэрозольных частиц
Фиторемедиация	Активная: поглощение тяжелых металлов, накопление токсичных соединений	Пассивная: ограниченная детоксикация, накопление загрязнителей	Очищающая способность выше на 70% - биологическая рекультивация почв
Газоустойчивость	Высокая: резистентность к загазованности, адаптация к городской среде	Низкая: чувствительность к загрязнениям. угнетение роста	Стабильность выше в 3 раза - устойчивость к промышленным эмиссиям
Почво-образование	Активное: структурообразование, гумусонакопление, азотфиксация	Деградиационное: истощение почвы, эрозия, уплотнение	Плодородие повышается на 50%, естественное мульчирование и аэрация
Водопотребление	Экономное: 20-30 л/м ² за сезон. Достаточно естественного увлажнения	Интенсивное: 100-150 л/м ² за сезон. Требуется регулярный полив	Экономия воды до 80%, адаптация к естественному водному режиму
Долговечность	8-10 лет Самовосстановление, естественное возобновление	2-3 года Постоянный подсев, регулярная реконструкция	Продолжительность жизни в 3-4 раза выше – самоподдерживающаяся экосистема

Переход на систему озеленения с использованием луговых многолетников местной флоры демонстрирует комплексный экологический эффект, многократно превосходящий традиционные газоны. Формируется не просто декоративный элемент, а устойчивая саморегулирующаяся экосистема. Разнотравье привлекает насекомых-опылителей, служит кормовой базой для птиц и восстанавливает нарушенные городские трофические связи.

Глубокая корневая система обеспечивает исключительную засухоустойчивость и ветроустойчивость, а естественная акклиматизация видов гарантирует морозостойкость. Многоярусный травостой работает как мощный природный фильтр, эффективно улавливая пыль и осуществляя фиторемедиацию почвы от тяжелых металлов. При этом система характеризуется минимальным водопотреблением и способностью к самовосстановлению на протяжении 8-10 лет.

Экологические преимущества проекта напрямую трансформируются в значительные экономические выгоды. Высокая засухоустойчивость и естественное плодородие почвы приводят к резкому сокращению затрат на полив и удобрения, обеспечивая экономию до 80 % на водных

ресурсах и 83 % на подкормках. Устойчивость лугового сообщества к болезням и отсутствие необходимости частого кошения сокращают трудозатраты на обслуживание на 36 %. Долговечность системы исключает ежегодные расходы на посев и реконструкцию, характерные для традиционных газонов.

Луговое озеленение города Уфы показывает, что использование местных растений может стать эффективной и устойчивой альтернативой традиционным газонам и однолетним клумбам. Внедрение луговых сообществ позволяет создавать природные экосистемы в городской среде, которые не только красивы, но и экологически полезны: поддержка биоразнообразия, питание для опылителей, сохранение почвы и снижение эрозии.

Применение видов, таких как овсяница луговая (*Festuca pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*) и василёк луговой (*Centaurea jacea*), формирует гармоничные композиции без конкуренции между видами. Практическая значимость заключается в снижении затрат на уход и полив, минимизации применения удобрений, а также сохранении декоративного эффекта весь сезон.

ВЫВОДЫ

Вопросы рационального озеленения в современных городах в условиях ухудшения экологической обстановки и снижения биологического разнообразия являются весьма актуальными. На основе использования учебной и научной литературы в работе проведен подбор растений, наиболее подходящих к использованию в этих целях (устойчивые к засухе, вытаптыванию и перепадам температур): овсяница луговая (*Festuca pratensis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*) и василёк луговой (*Centaurea jacea*). Представленный проект для г. Уфа по переходу на систему озеленения луговыми растениями местной флоры на пилотном участке в 500 кв.м. является экономически и экологически целесообразным. Проведенный сравнительный анализ экологической эффективности различных систем озеленения с использованием десяти критериев выявил преимущества лугового озеленения по отношению к остальным.

Негативное воздействие урбанизации в современном городе может быть смягчено за счет создания ландшафтов, состоящих из луговых растений, наиболее адаптированных к местным условиям. Такой подход рекомендуется для парков, скверов, территорий вдоль дорог и образовательных учреждений. Он позволяет создавать самоподдерживающиеся зелёные зоны с высокой экономической, эстетической и экологической ценностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметшин, Р.Р. Экологизация городского озеленения / Р.Р. Ахметшин. – Уфа: БГАУ, 2020. – 156 с.
2. Николаева, Т.В. Луговые растения Башкортостана / Т.В. Николаева. – Уфа: Гилем, 2018. – 184 с.
3. Орлова, Е.В. Луговые экосистемы России / Е.В. Орлова. – М.: Наука, 2017. – 212 с.
4. Бикмухаметов, А.А. Флора Башкирии: Справочник / А.А. Бикмухаметов. – Уфа: Китап, 2015. – 340 с.
5. Федорова, Л.Н. Роль местных растений в экологическом благоустройстве / Л.Н. Федорова. – СПб., 2020. – 128 с.
6. Кожевников, С.А. Устойчивое ландшафтное проектирование / С.А. Кожевников. – М.: Колос, 2021. – 176 с.
7. Сергеева, А.В. Эколого-эстетический потенциал луговых сообществ / А.В. Сергеева. – Казань, 2021. – 176 с.
8. Green, D. Sustainable Landscape Practices / D. Green. – Oxford: Blackwell, 2022. – 340 p.
9. Jones, P. Urban Meadow Design and Ecology / P. Jones. – London: Routledge, 2020. – 340 p.
10. Иванов, К.А. Природное разнообразие и адаптация флоры Южного Урала / К.А. Иванов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2019. – 198 с.
11. Афонина М.И. Ландшафтно-визуальный анализ: информационно-коммуникационные технологии / М.И. Афонина, Н.М. Ветрова, Н.А. Варлахов // Экономика строительства и природопользования. - 2022.- № 4 (85). -С. 54-61.

URBAN MEADOW GREENING: ADVANTAGES AND PROSPECTS FOR USING NATIVE PLANTS (CASE STUDY OF UFA, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

¹Galieva G.M., ²Ivanova L.E.

¹Faculty of Economics, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

²Faculty of Agrotechnology and Forestry, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Annotation. With growing interest in natural ecosystems and sustainable urban development, the use of native meadow plants in landscaping is becoming increasingly important. The aim of this study is to justify the use of native meadow plants for landscaping in Ufa. Based on a review of scientific literature and a cost-benefit analysis, this article identifies the advantages of introducing meadow communities in Ufa, taking into account regional natural and climatic conditions. It is noted that the use of species such as meadow fescue (*Festuca pratensis*), red clover (*Trifolium pratense*), common yarrow (*Achillea millefolium*), wild bellflower (*Campanula patula*), and knapweed (*Centaurea jacea*) contributes to the formation of stable phytocenoses that do not require frequent watering and mowing. Meadow compositions are compared with traditional lawns and annual flower beds. It has been shown that meadow landscaping is characterized by greater biological stability, cost-effectiveness, and decorative appeal throughout the season. Furthermore, meadow plantings positively impact biodiversity by creating habitats for pollinating insects and small animals. The study provides recommendations for plant selection, establishment stages, and maintenance of meadow areas. It is concluded that it is necessary to more widely integrate natural landscaping into the urban environment of Ufa, which will reduce operating costs and improve the ecological status of the areas.

The novelty of the study lies in the substantiation of the need for a wider introduction of natural types of landscaping into the urban environment using the example of the city of Ufa.

Keywords: meadow plants; ecodesign; sustainable landscaping; biodiversity; natural ecosystems.

УДК 711.4

ГОРОДСКАЯ СРЕДА И БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Лейкина Д.К.¹, Лептюхова О.Ю.², Чиркова В.А.³

¹Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений», АО «ЦНИИПромзданий», 127238, город Москва, Дмитровское ш., д.46 к.2, e-mail: leikina@asm-1.ru

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: oy-2@mail.ru

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», НИУ МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: ivikai.2017@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается городская воздушная мобильность как новая градостроительная подсистема в связи с развитием беспилотной авиации на основе анализа зарубежного опыта интеграции беспилотных летательных аппаратов в градостроительную практику и нормативную базу. В условиях роста рынка беспилотных летательных аппаратов и спроса на услуги в городской среде критически важно ускорить внедрение беспилотных летательных аппаратов в городскую среду, адаптируя инфраструктуру для их безопасного использования.

Цель. выявление состава элементов беспилотной инфраструктуры и правил передвижений БПЛА, влияющих факторов и ограничений развития на организацию городской среды для передвижения в ней БПЛА на основе зарубежного опыта.

Методы. Анализ нормативных документов, научной и технической литературы, примеров использования беспилотных летательных аппаратов, метод индукции.

Результаты. Использование беспилотных летательных аппаратов в городской среде формирует новую градостроительную подсистему, активно развивающуюся и совершенствующуюся, однако сталкивающуюся с рядом проблем. В статье приводятся результаты анализа состава инфраструктуры беспилотных летающих аппаратов, ограничений применения на основе опыта Китая, США и Европейского союза. Установлены перспективы развития инфраструктуры для функционирования беспилотных летательных аппаратов, ее возможные параметры и требования к размещению. Полученные данные могут быть использованы для разработки эффективных стандартов многоуровневой городской среды.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, воздушная мобильность, градостроительные ограничения, нормативы по беспилотной аэромобильности.

ВВЕДЕНИЕ

Объем коммерческого рынка дронов в 2025 году составил около 41,79 млрд. долларов и с ежегодным ростом порядка 10-14 % достигнет 89,70 млрд. долларов к 2030 году. Наибольшая активность отмечена в четырех отраслях: сельское хозяйство, строительство, логистика и развлечения (рис.1) [3].



Рис. 1. Доля использования БПЛА в отраслях. Автор Лептюхова О.Ю.

Российские темпы роста объема продаж БПЛА и услуг с их применением демонстрирует среднегодовой рост около 25 %, ожидается что к 2030 году он сможет достичь 120 млрд. рублей. Как отмечается в отчете Аэронет [1] десятикратный рост рынка может быть обеспечен развитием нормативной базы, в том числе в области технического регулирования.

На проведенных Международном форуме беспилотных аппаратов всех сред «Крылья Сахалина» (сентябрь 2025) [4] и Международном форуме «Беспилотные системы: технологии будущего» в Сколково (август 2025) [5] также подчеркивалось, что широкое внедрение БПЛА сдерживается отсутствием понятных правил и норм.

Необходимо отметить, что внедрение БПЛА в различные сферы городской жизни становится одним из ключевых направлений развития «цифровой» экономики и «умных» городов в Российской Федерации. Таким образом, актуальность научных исследований, посвященных особенностям организации и регулирования передвижения БПЛА в городских нормативных, технологических и социально-экономических предпосылок.

Во-первых, вопросы обеспечения безопасности полетов БПЛА и интеграции новых участников воздушного движения в единое воздушное пространство страны являются приоритетными в государственной политике в области беспилотной авиации согласно Стратегии развития беспилотных авиационных систем в Российской Федерации. Также в указанной стратегии критически важной задачей признается совершенствование технологий управления, мониторинга и предотвращения нештатных ситуаций.

Во-вторых, ожидается, что развитие беспилотных авиационных услуг в городской среде рассматривается как значимый драйвер экономического роста, формирования новых рынков, повышения эффективности городских сервисов и социальной удовлетворенности. Результаты аналитических исследований [3] подтверждают, что внедрение БПЛА в городские процессы (мониторинг, доставка, экстренное реагирование) способствует повышению качества жизни граждан и эффективности городского управления.

Интенсивный рост использования БПЛА требует налаженной инфраструктуры и разработки правил безопасного сосуществования БПЛА и населения: снижения риска столкновений и падений, неконтролируемого сбора данных и других угроз.

Таким образом, формирование научно-обоснованных подходов организации движения БПЛА в городской среде отвечает приоритетам государственной политики и актуальным потребностям российского общества.

Несколько меньший опыт использования и объем рынка БПЛА в России свидетельствует о целесообразности изучения международного опыта, что позволит выявить лучшие практики и избежать ошибок при формировании или организации городской среды, минимизирует риски и повысит ее качество, ускорит создание эффективных стандартов многоуровневой городской среды.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ

В исследовании основное внимание уделено изучению опыта США, Европейского союза, Китая, как наиболее передового.

Материалы для изучения подбирались по нескольким направлениям: конкретные примеры применения БПЛА в городской среде и нормативное обеспечение такого использования.

В исследовании проводился анализ документов с выделением их ключевых положений относительно состава и характеристик инфраструктуры, влияющих факторов и ограничений использования БПЛА в городских условиях. Результаты анализа обобщались.

Источниками материалов служили официальные правительственные сайты и сайты производителей и эксплуатантов дронов, научные базы цитирования Scopus, Web of Science, РИНЦ и RSCI.

Сегодня в каждой стране участниками развития аэромобильности являются:

- разработчики и производители БПЛА;
- создатели программного обеспечения и полетных заданий;
- национальное агентство воздушного транспорта (или другая ответственная государственная регулирующая организация);
- регистрирующая и/или лицензирующая организация (идентификация аппаратов, управление воздушно-транспортными потоками, метрология, информирование о появлении новых препятствий, разрешения и запрещения на полеты в особых зонах и т. д.);

- владельцы БПЛА или провайдеры услуги доставки;
- операторы БПЛА;
- наземная группа обслуживания, загрузки и разгрузки отправок [21].

В зарубежных странах активно внедряется логистика с применением БПЛА. Достаточно известными примерами в этой области являются системы доставки, используемые компаниями Амазон (Amazon) [10] и Гугл (Google) [24] в США [15] и ДиЭйчЭл (DHL) [13] в Германии, осуществляющими доставку срочных отправок – анализов, медикаментов и других срочно требуемых предметов клиентам. При этом вертикальный взлет БПЛА в виде коптеров является особым преимуществом в связи с возможностью точечной доставки отправок.

Наибольшего успеха во внедрении БПЛА в логистические схемы доставки грузов достигли Китай и США [21, 31]. Основной особенностью систем, внедряемых этими странами является то, что БПЛА применяются для доставки в условиях городской застройки без внесения серьезных изменений в городскую инфраструктуру.

В США сразу несколько компаний развивают доставку грузов БПЛА. Такими являются DHL, Amazon, Google, Zipline, UPS. Опыт этих компаний говорит об достаточно простой работе. Покупатель делает онлайн заказ и указывает Prime Air как способ доставки. В логистическом центре компании товар, выбранный клиентом, загружается на беспилотник. Затем БПЛА летит по указанному адресу, приземляется, проводит выгрузку товара и улетает. После этого клиент забирает с земли упаковку с товаром.

Однако, несмотря на значительные технологические успехи, проект Amazon Prime Air столкнулся с рядом трудностей. На данный момент он не реализован в коммерческом масштабе, и существуют опасения относительно его жизнеспособности и практичности.

В 2012 году корпорация Alphabet (материнская компания Google), а точнее ее подразделение «X», занимающееся инновационными разработками, начала прорабатывать вопросы доставки грузов дронами, а спустя два года, в августе 2014 года был анонсирован проект Wings, направленный на разработку автоматизированного БПЛА и инфраструктуры для его использования. В отличие от Amazon, разрабатывающей беспилотники для себя, Google стремилась создать сервис по доставке, который будет востребован другими компаниями. В проекте было продемонстрировано несколько типов беспилотников, причем построенных по разным аэродинамическим схемам.

После первой публичной демонстрации в 2014 году проект искал себе реального применения. Сначала шли переговоры о доставке грузов медицинского назначения, а затем о доставке еды и напитков, но, к сожалению, ни один проект так и не вышел в продуктивную фазу. В ноябре 2016 г. поступила информация, что Project Wings переведен в стадию заморозки. Основной причиной неудач проекта, по мнению Bloomberg, являются административные ограничения на коммерческую перевозку грузов беспилотниками.

Калифорнийская компания Matternet впервые применила БПЛА в 2012 году, моделируя доставку медикаментов в лагерь беженцев на Гаити.

На основании полученных во время этих испытаний данных руководитель компании Андреас Раптопулос утверждал, что стоимость доставки груза весом 2 кг на расстояние 10 км составляет 24 цента.

В 2016 году компания участвовала в проекте по доставке образцов крови для выявления ВИЧ/СПИД среди жителей удаленных деревень в Республике Малави, Восточная Африка.

В мае 2014 индийская пиццерия Francesco's Pizzeria опубликовала видео с коммерческой доставкой пиццы клиентам. В январе 2014 американская пивоварня Lakemaid Beer доставляла пиво с помощью БПЛА любителям зимней рыбалки на замерзшем озере Вакония, штат Миннесота, США.

Анализ опыта китайской компании Meituan, использующей беспилотники для доставки пищевых продуктов, показал следующее. Система организована таким образом, что при поступлении заказа, оператор на складе комплектует требуемые продукты и прикрепляет их к БПЛА коптерного типа, который по заданному маршруту движется до пункта выдачи заказов.

Таким образом, в последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно интегрируются в городскую жизнь, трансформируя традиционные представления о транспорте, отдельных производственных процессах, логистике и даже досуге. Зарубежные города сталкиваются с необходимостью перестройки инфраструктуры доставки: БПЛА начинают

обслуживать так называемую «последнюю милю» доставки товаров – доставку от последнего логистического хаба до потребителя, приступают к проектированию многоуровневых городов с отдельными зонами для БПЛА, активно внедряют «умные» транспортные системы, интегрируя летающую и наземную ее части в единую цифровую среду.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование посвящено изучению зарубежного опыта адаптации инфраструктуры БПЛА для городских условий: выявлению состава элементов беспилотной инфраструктуры и правил передвижений БПЛА, влияющих факторов и ограничений на организацию городской среды для передвижения в ней БПЛА.

Поставленная цель требует решения следующих задач:

1. Исследование зарубежного практического опыта внедрения беспилотных летательных аппаратов в городскую среду и способов нормативного регулирования использования БПЛА;
2. Определение применяемых на практике элементов и параметров физической инфраструктуры для использования беспилотных летательных аппаратов и их функционирования в городской застройке;
3. Изучение методов навигации беспилотных летательных аппаратов, анализ эффективности различных видов систем и оптимальности для применения в городе;
4. Установление нормативно закреплённых вариантов зонирования воздушного пространства для регулярных передвижений дронов и действующих для них ограничений;
5. Формирование проблематики использования беспилотных летательных аппаратов в городской среде, возможностей правового регулирования полетов дронов и физической инфраструктуры для них и перспектив безопасной интеграции беспилотников в структуру современного города.

Объектом исследования является инфраструктура для БПЛА.

Предметом исследования является градостроительное методическое обеспечение формирования городской среды в целях создания инфраструктуры БПЛА.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Анализ опыта доставки товаров позволяет сделать вывод, что процесс выполняется по следующему алгоритму. Беспилотник получает информацию о доставке, автономно или полуавтономно получает груз из места хранения и доставляет его по воздуху. Склады базируются на крышах высотных зданий и одновременно являются аэродромами для беспилотных комплексов. Во время движения БПЛА связывается с другими БПЛА, которые находятся относительно недалеко друг от друга для получения информации, используемой для планирования маршрута. Эта информация может храниться на сервере автономной базовой станции и/или динамически распределяться между ближайшими БПЛА.

Когда БПЛА достигает места доставки, он исследует поверхность в месте доставки для безопасной посадки, производит посадку, затем отпускает груз, тем самым завершая доставку. В дальнейшем, если БПЛА ранее успешно приземлился в месте доставки, он может использовать сохранённую информацию о месте доставки (например, безопасную зону посадки, географические координаты зоны посадки) для навигации при посадке в точке доставки. После завершения доставки БПЛА может вернуться в базовый пункт обработки или в другое место для получения другого груза, зарядки батарей и т. д. Кроме того, пользователи могут указать альтернативные места доставки, например, дом, рабочее место и т.д. Для избегания столкновений БПЛА избегают препятствия в окружающей среде, таких как животные, люди, различные небольшие сооружения и т.д. при помощи машинного зрения. Оператор осуществляет мониторинг одновременно за несколькими комплексами.

Главной особенностью данного процесса является сочетание человеческого и автоматизированного труда. Плотная городская застройка является наиболее сложным условием для функционирования системы управления БПЛА.

Разные страны приняли различные подходы к регулированию использования БПЛА, отражающие их уникальные проблемы и приоритеты.

В США вопросами документационного регулирования БПЛА занимается FAA (Federal Aviation Administration – Федеральное управление гражданской авиации США). В исследованиях

перспектив внедрения БПЛА в городскую среду FAA сотрудничает с NASA (National Aeronautics and Space Administration – Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства).

В библиотеке FAA имеются юридические документы, в которых перечислены требования, регулирующие полеты БПЛА и устанавливающие правила относительно их, а также научные публикации и учебные материалы по управлению БПЛА.

Основным документом, регламентирующим правила эксплуатации и полетов БПЛА является Summary of the Small UAS Rule (Part 107), 2016 год (Краткое изложение правил для малых беспилотных летательных аппаратов (часть 107) [16].

Для любительских полетов БПЛА существует карта мест запуска (без подачи заявки на разрешение использования воздушного пространства) при условии, что они выполняют полеты на максимально допустимой высоте или ниже [25]. Разрешенные пространства для полетов устанавливаются в тех местах, в которых не будут нести угрозу воздушному пространству страны.

Согласно карте зон и данных Google Maps, запретная зона выделяется над аэропортами, минимальный радиус – 8 км (непосредственно над участком полет запрещен, чем дальше от аэропорта, тем выше разрешенная высота), военными базами (полеты запрещены) и иными важными объектами. Присутствуют рекреационные зоны, в границах которых запрещены полеты, например, над Национальным заповедником Супериор. Также полеты запрещены вдоль побережья в радиусе 3000 футов (915 м).

В Европейском Союзе за разработку правил полетов БПЛА и обеспечение безопасности гражданской авиации отвечает EASA (European Union Aviation Safety Agency – Европейское агентство по безопасности полетов). В отношении БПЛА EASA устанавливает общие правила и стандарты, выдает сертификаты и контролирует внедрение правил для обеспечения их безопасной интеграции в европейское воздушное пространство [14].

Основным документом является Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945) (Правила простого доступа к беспилотным авиационным системам (Регламенты (ЕС) 2019/947 и 2019/945)), пересмотр от 10 июля 2024 года [14] содержит подробное описание правил использования БПЛА на территории Европейского союза, границы разрешенных полетов в воздушном пространстве, методики их определения и классификации.

В Китае активно развивается «экономика малых высот», т.е. система хозяйствования с использованием БПЛА, которая отражена в следующих документах:

- Interim Regulation on the Administration of the Flight of Unmanned Aircraft (Временное положение об управлении полетами беспилотных летательных аппаратов), опубликованное 28 июня 2023 года Государственным советом КНР (State Council of China) и Центральным военным советом КНР, начавшее действовать с 1 января 2024 года [23]. Данное Положение является первым в Китае документом, комплексно регулирующим управление полетами БПЛА. Оно разъясняет систему, объекты и содержание управления, а также легализует классификацию, сферу применения, полномочия, процедуры и ответственность в этой области.

- Shanghai's Action Plan for the Low-Altitude Economy Industry 2024–2027 (План действий по качественному развитию промышленности низких высот Шанхая (2024–2027 годы)) [30, 29]. Был утверждён 25 июля 2024 г. и разработан Правительством для реализации стратегий создания мощной производственной и транспортной державы, использования стратегических возможностей инновационного развития глобальной экономики низких высот, создания новых бизнес-моделей для экономики, активного продвижения новой индустриализации и развития качественно новой производительности труда.

База БПЛА Цзиньшань Хуадун является одной из первых «испытательных площадок гражданских беспилотных летательных аппаратов (БАС)» (для островных сценариев) в Китае. Сферы применения постепенно расширяются. Аэропорт Цзиньшань-Чжоушань-Лунхуа реализует логистические и транспортные решения по маршруту «море-побережье-город», а район Янпу и другие районы внедряют доставку продуктов питания с помощью дронов. Пилотные межрегиональные маршруты запущены в дельте реки Янцзы. В целях дальнейшего развития предложено 6 инициатив, в том числе развитие «мягкой» и «жесткой» инфраструктуры, в рамках расширения коммерческого использования БПЛА.

В «Плане высококачественного строительства низкоуровневой инфраструктуры в Шэньчжэне (2024–2026 гг.)» предусмотрена разработка инфраструктуры взлётно-посадочных площадок на

малых высотах, информационной инфраструктуры и инфраструктуры инноваций, стремясь создать систему инфраструктуры на малых высотах с «полной системой, четкой иерархией, едиными стандартами, интеллектуальными передовыми технологиями и междоменной интеграцией».

Таким образом, в каждой стране мира выработаны особые правила для использования БПЛА, поскольку они могут представлять опасность для воздушных судов, городской инфраструктуры, а также людей и животных.

Ключевым направлением регулирующих мер в каждой стране является определение границ деятельности с участием БПЛА. В нормативных актах указываются:

- допустимая высота, полеты большинства дронов ограничены высотой ниже 400 футов, чтобы избежать помех для пилотируемых самолетов.

- требования к геоэонам, некоторые районы, такие как аэропорты, военные зоны и национальные парки, обозначены как зоны, закрытые для полетов.

- дальность полета, в зависимости от типа дрона правила могут требовать выполнения полетов в пределах прямой видимости или разрешать полеты за пределами прямой видимости (BVLOS) при определенных условиях.

Следует отметить, что действующие нормативные документы в большинстве стран не до конца адаптированы для регулирования полетов БПЛА. Основной вызов заключается в необходимости создания новых классов зонирования или модификации существующих (например, появления зоны «аэромобильности» или «вертикального транспорта»).

Для функционирования БПЛА в зарубежных странах в городской среде применяют:

1. Станцию техобслуживания, склад и аэродром на крышах зданий или в отдельно стоящих сооружениях.

2. Беспилотный комплекс, оснащенный современными датчиками, обеспечивающими качественное функционирование системы управления: лидары, радары, ультразвуковые датчики, барометрические датчики, камеры с высоким разрешением, а также герметичным контейнером, предназначенным для хранения и транспортировки грузов.

3. Юридическое разрешение на применение БПЛА в городской среде.

4. Утвержденный маршрут движения БПЛА.

5. Обеспечение места посадки и выгрузки БПЛА.

6. Постоянный мониторинг и контроль процесса доставки оператором.

Большое значение для внедрения БПЛА имеет анализ практики градостроительного зонирования для размещения объектов наземной инфраструктуры [11].

Rajendran и Srinivas выделяют четыре ключевых критерия выбора локации: транспортная доступность (интеграция с мультимодальными хабами), экологическая и шумовая совместимость, соответствие существующим правилам зонирования (особенно для высотных зданий) и общественное восприятие [19]. Исследования Rothfeld подчеркивают, что размещение вертопортов в центральных деловых районах наиболее эффективно для снижения времени в пути, но сталкивается с максимальными ограничениями по стоимости земли, шуму и безопасности. Альтернативой, по мнению Straubinger, является использование периферийных локаций (железнодорожные вокзалы, аэропорты) и связи его с наземным транспортом [13, 20].

В работе Hansman, R. J. и Vascik P.D., отмечается, что наиболее перспективной интеграции признано многофункциональное землепользование (развитие смешанного использования). Также авторы анализируют возможность размещения вертопортов на крышах существующих зданий (транспортных хабов, торговых центров, многоэтажных парковок), что позволяет минимизировать поиск новых территорий [27]. Однако данное решение требует тщательного анализа структуры зданий и организации безопасных коридоров для БПЛА.

Pradeep и Wei предлагают концепцию «вертопортов как узлов» (vertiports as hubs), где инфраструктура eVTOL совмещается с объектами торговли, офисами или общественными пространствами, создавая синергетический эффект и повышая экономическую эффективность использования земли [17]. Подход к планированию, ориентированный на транзитно-ориентированное развитие (TOD) с учетом БПЛА, рассматривается в работе Cohen [12].

Размещение вертопортов неизбежно влечет экологические последствия. Исследования Шумового воздействия eVTOL, хотя и показывают его снижение по сравнению с вертолетами, указывают на необходимость создания буферных зон и использования шумопоглощающих материалов.

Развертывание вертопортов в пределах жилых зон сопряжено с преодолением существенных барьеров, ключевыми среди которых являются акустическое загрязнение, вопросы сохранения приватности и риски безопасности. Население демонстрирует высокую чувствительность к шуму, генерируемому летательными аппаратами, что может привести к активному противодействию реализации проектов, воспринимаемых как нарушающие спокойствие жилых районов. Приватность становится предметом беспокойства в связи с полетами на малых высотах, а потенциальный риск аварийных ситуаций усугубляет общественное сопротивление.

Тем не менее, реализация объектов ограниченного использования, например, предназначенных исключительно для авиационных служб экстренного реагирования (санитарная авиация), может быть допустима в жилых зонах при условии установления строгого регламента эксплуатации. Для смягчения негативного воздействия могут применяться такие меры, как создание буферных санитарных зон, введение ограничений на время операционной деятельности, а также внедрение передовых технологий снижения шума.

- Промышленные зоны представляются перспективным вариантом для размещения вертопортов ввиду наличия значительных территориальных ресурсов, развитой инженерной инфраструктуры и логистических преимуществ. Данные территории, как правило, заняты складскими комплексами, дистрибьюторскими центрами и производственными мощностями, что обуславливает их целесообразность для организации грузовых операций с использованием аэромобилей. Кроме того, объекты в промышленных зонах обычно подвергаются менее пристальному общественному контролю.

Вместе с тем, действующие нормы промышленного зонирования могут не учитывать специфические требования к вертопортам, такие как необходимость создания энергетической инфраструктуры для зарядки электрических вертикально взлетающих и посадающихся летательных аппаратов (eVTOL) или хранения водородного топлива. Внедрение подобных объектов по-прежнему может потребовать проведения оценки воздействия на окружающую среду в части анализа выбросов, уровней акустического воздействия и изменения характера землепользования.

Важным экономическим преимуществом вертопортов в промышленных зонах является возможность их двойного использования, например, в качестве грузовых хабов в периоды низкого пассажиропотока, что способствует повышению операционной эффективности и общей рентабельности проекта [17].

- Зона делового, общественного и коммерческого назначения.

В отличие от промышленных, коммерческие зоны могут характеризоваться повышенной совместимостью с широким спектром конфигураций вертопортов. Данные территории, выполняющие функции транспортных, торговых и медицинских узлов, являются высокопотенциальными для интеграции инфраструктуры для eVTOL. Размещение вертопортов в коммерческих районах позволяет удовлетворить высокий спрос, генерируемый деловыми центрами, торговыми комплексами и объектами развлекательной индустрии (могут относиться и центры рекреационной активности).

При реализации проектов в зонах высокой коммерческой плотности может возникнуть необходимость в корректировке высотных регламентов для размещения необходимой инфраструктуры вертопорта. В то же время в зонах низкой плотности застройки и смешанного использования ключевое значение приобретает оценка воздействия объекта на прилегающие жилые массивы, в частности, по факторам, указанным ранее (шум, безопасность). Важным преимуществом коммерческих зон является более благоприятное публичное восприятие, обусловленное их устоявшейся ролью в качестве центров деловой активности и транспортной инфраструктуры [12, 18].

Выделяют основные типы объектов:

- Вертодромы (Vertiports) и посадочные площадки (Landing Pads): Ключевые узлы сети БПЛА. Предназначены для взлета, посадки, посадки пассажиров, погрузки/разгрузки грузов. Могут быть наземными (на крышах зданий, на специально отведенных территориях) и многоуровневыми.

- Станции технического обслуживания и зарядки/заправки (Charging/Refueling Hubs): обеспечивают энергетическую автономность БПЛА. Могут быть совмещены с вертодромами или размещаться отдельно.

- Центры управления полетами (UTM Command and Control Centers): Аналоги диспетчерских служб. Обработывают данные о воздушной обстановке, маршрутах, погоде.

- Сеть сенсоров и систем связи: Наземные станции для обеспечения надежной связи (5G, C2), навигации (GBAS) и наблюдения (радары, камеры) за БПЛА.

- Логистические хабы: Складские и сортировочные центры, интегрированные с вертодромами для доставки грузов [26].

- ВПП – взлетно-посадочные площадки

Основополагающим вопросом является определение пространственных требований вертопорта. Как отмечают Thirphavong и др. (2018), минимальные размеры посадочной площадки составляют примерно 15x15 метров, однако общая площадь территории должна учитывать зону безопасности, пассажирский терминал, инфраструктуру зарядки и техобслуживания [22].

Европейское агентство по авиационной безопасности (EASA) разработало комплексные требования, направленные на обеспечение безопасной и эффективной интеграции систем городской авиамобильности (Urban Air Mobility, UAM) в урбанизированную среду. Критически важным элементом этих требований является стандартизация конфигураций вертопортов, которые определяют профили взлета воздушных судов вертикального взлета и посадки (VTOL) и адаптированы к разнообразным городским условиям и типам летательных аппаратов.

EASA определяет три первичные конфигурации вертопортов, каждая из которых обуславливает специфический профиль взлета и посадки VTOL (рис. 2).

a. Взлет с возвышенной конструкции (Elevated Conventional Takeoff)

Описание: Взлетная площадка расположена на возвышении в черте города.

Преимущества и особенности: Данная конструкция позволяет закрывать потенциальные отклонения траектории в случае возникновения отказа на начальном этапе полета. Это обеспечивает дополнительный запас безопасности, вызывающий аварийную посадку в свободной зоне, так как на пути его траектории после взлета с возвышением находится меньшее понижение.

Область применения: Интеграция взлетно-посадочных площадок в существующую городскую застройку (крыши зданий, специальные эстакады).

b. Традиционный взлет с пробегом (Conventional Takeoff)

Описание: Взлет осуществляется с площадки, свободной от окружающих препятствий. Вертодром может включать в себя (ВПП) малой длины для выполнения взлета с пробегом.

Преимущества и особенности: Взлет с разбегом обеспечивает повышенную энергоэффективность для некоторых типов вертикального взлета и посадки, а также позволяет набрать необходимую подъемную силу с подъемом энергозатрат по сравнению с вертикальным взлетом. В проектировании траектории заложен допуск на препятствия (допуск на препятствия) для уменьшения риска в случае отклонения.

Область применения: Периферийные вертопорты, аэродромы, специализированные площадки с достаточным свободным пространством.

c. Вертикальный взлет (Vertical Takeoff)

Описание: Конфигурация, предназначенная для работы в стесненных условиях с высокой подсветкой застройки. С ВВП следует исключительно по вертикальной траектории.

Преимущества и особенности: минимизирует горизонтальное перемещение в условиях городской среды на углах подъема и посадки, что позволяет разместить посадочные площадки в тесных городских каньонах. Требуется высокой точности и надежности систем управления.

Область применения: Центральные районы мегаполисов, плотно застроенные исторические центры, крыши зданий [28].

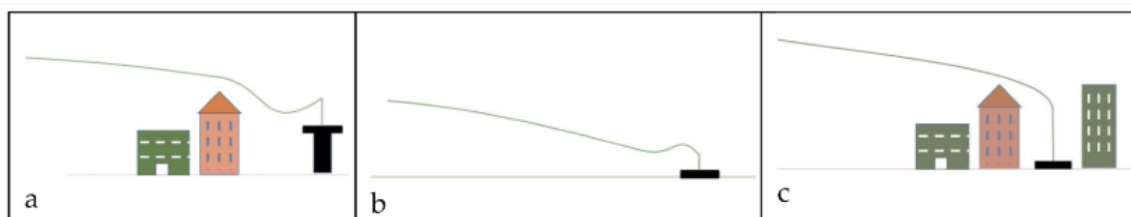


Рис. 2. (a) - Обычный взлет вертикально вверх с возвышенности; (b) обычный взлет без препятствий; (c) вертикальный взлет с препятствиями [26, 28]

По размеру (рис. 3) ВПП подразделяются на:

1. Площадки небольшого размера. (Small-scale landing pads)

Наименьшие по размеру площадки, часто сопоставимые по площади с небольшой платформой. Как правило, используются для посадки дронов без нагрузки или с минимальным грузом, например, для целей наблюдения и мониторинга. Такие площадки также могут быть обозначены как места для аварийной посадки. Их ключевым преимуществом является возможность стратегического размещения в городской среде для обеспечения быстрого доступа в чрезвычайных ситуациях.

2. Площадки среднего размера. (Medium-scale landing pads)

Данный тип инфраструктуры предназначен для обслуживания дронов, перевозящих малые и средние грузы. К примерам площадок среднего масштаба относятся: площадки для дронов с питанием от наземного источника, грузовые вертикальные конструкции, пункты сброса/получения груза.

3. Посадочные хабы крупного масштаба (Large-scale landing hubs)

Крупнейшие инфраструктурные объекты, используемые для посадки дронов с тяжелыми грузами и обеспечения высокоинтенсивного трафика. Их масштаб может быть сопоставим с размером отдельного здания или сооружения. Подобные хабы обычно обладают развитой инфраструктурой, включающей: станции подзарядки/заправки, центры управления и связи, объекты логистики и складского хранения.

Представленная классификация демонстрирует, что проектирование ВПП-инфраструктуры является многокритериальной задачей, напрямую зависящей от операционных сценариев использования БПЛА в городской среде [20].

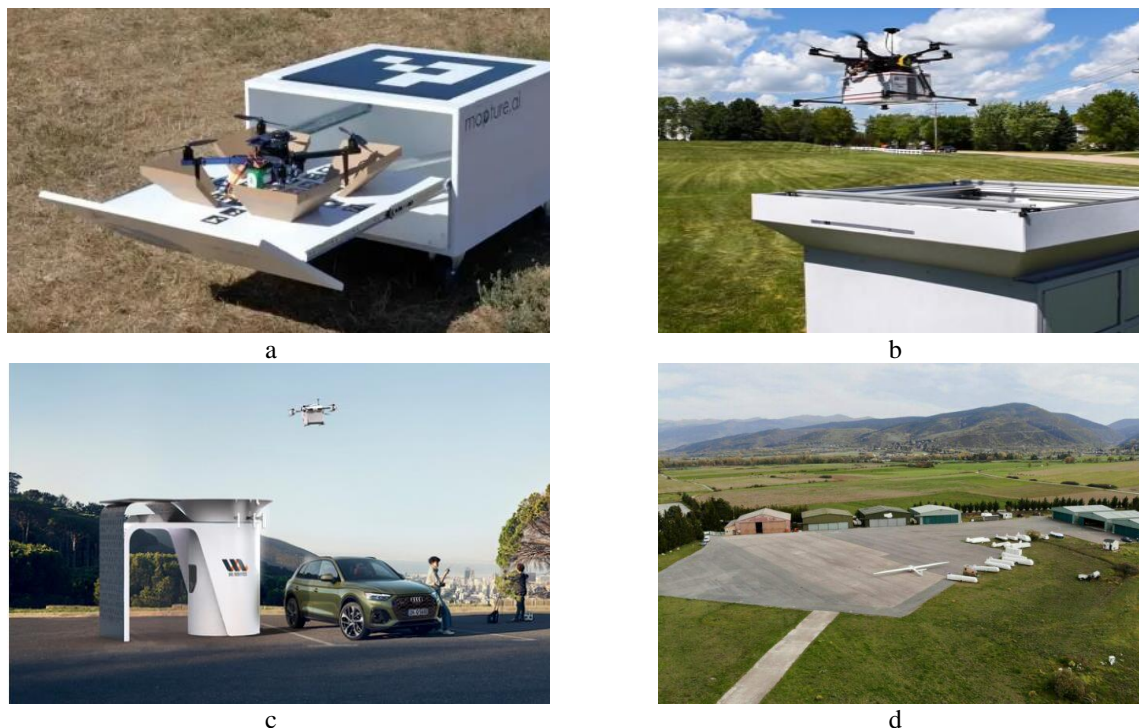


Рис. 3. (a)- площадки среднего размера (b), (c) - площадки небольшого размера, (d) - посадочные хабы крупного масштаба [8]

Одним из наиболее важных параметров беспилотных комплексов является его автономность, которая достигается за счет внедрения в него сложных систем и датчиков. За качество выполняемых задач, возложенных на комплекс, в большей степени отвечает система управления. Она включает в себя множество подсистем: регуляторы скорости, приемопередатчики, модули навигации и управления, источник питания и т.д.

Существуют основные методы навигации БПЛА: спутниковые системы, инерциальные навигационные системы, радиотехнические системы, навигация в режиме реального времени при помощи распознавания.

Спутниковые системы (GPS, ГЛОНАСС) используют сигналы от спутников для определения местоположения, скорости и времени (рисунок 4). Например, GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия).

Принцип работы заключается в том, что приемник вычисляет свое положение, синхронизируя сигналы, посылаемые спутниками, вращающимися вокруг Земли. Каждый спутник передает данные, которые включают местоположение спутника и точное время отправки сигнала. Приемник использует эти данные для расчета расстояния до каждого спутника и определяет его положение.

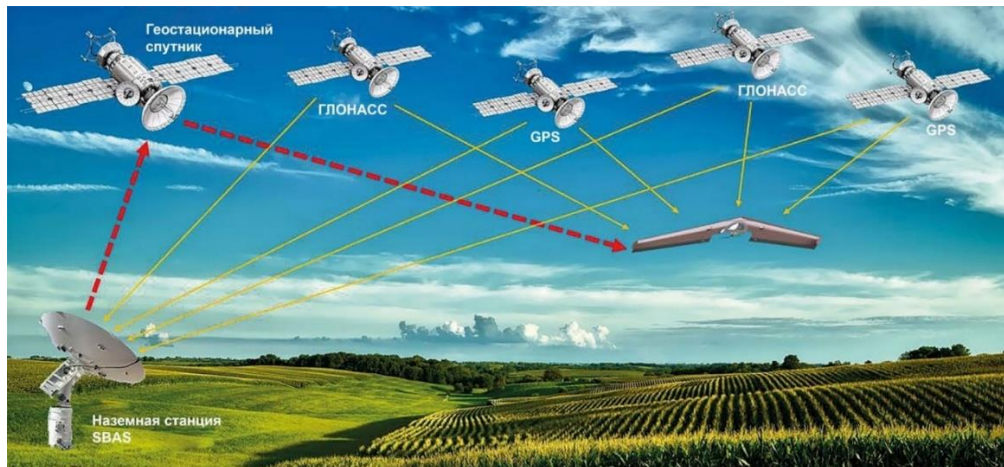


Рис. 4. Функционирование спутниковых навигационных систем [7]

В условиях городской среды точность геопозиционирования снижается из-за многочисленных отражений сигнала. Чтобы снизить зависимость от одной системы, имеется возможность использования данных одновременно от GPS и ГЛОНАСС, а также от европейской Galileo и китайской BeiDou. Многочастотные приёмники позволяют сравнивать сигналы и выбирать наилучшее качество.

Необходимо отметить, что самой часто используемой спутниковой системой является GPS, поскольку у нее самое большое количество спутников, однако ввиду острой геополитической обстановки и санкционного давления, во многих городах подавляется сигнал GPS из-за высокой террористической опасности.

Инерциальные навигационные системы (IMU) представляют собой модульную систему, архитектура которой может быть сформирована индивидуально под конкретную задачу. Основу обычно составляет сочетание трёхосевых акселерометра и гироскопа, к которым может быть добавлен магнитометр, барометр, температурный датчик и т.д. В результате комплектуется достаточно сложная и многофункциональная измерительная система, позволяющая выполнить полётное задание БПЛА средней дальности (в радиусе от 100км до 1000км).

Радиотехнические системы предоставляют данные о местоположении с помощью сигналов от радиомаяков или наземных станций (рисунок 5). Следует отметить, что радионавигационные сигналы могут подвергаться искажениям из-за рельефа, погодных условий и других факторов. Это снижает эффективность их использования. Также стоит отметить, что в условиях города или сельской местности обычно нет проблемы покрытия сигнала радиовышкой.



Рис. 5. Радиотехническая система навигации БПЛА [6]

Система ориентирования при помощи системы распознавания является самой сложной и самой дорогой, однако она полностью независима от спутников и радиовышек. Она основывается на применении камер или систем компьютерного зрения с целью обнаружения и отслеживания объектов на поверхности земли. Такие системы помогают анализировать изображения с камер, определяя координаты и ориентацию БПЛА относительно окружающей среды. Этот метод дополняет другие навигационные методы и повышает уровень автономности аппарата. Нейросети и машинное обучение позволяют в автоматическом режиме проводить анализ полученных данных и накапливать данные о возможных путях движения, препятствиях и прочих объектах на маршруте. Для качественного функционирования данной системы требуется большое количество камер, ультразвуковых датчиков, радаров и лидаров. Она способна с высокими точностью и степенью автономности находить маршрут с обходом препятствий до заданной точки, но очень сильно повышает стоимость беспилотного комплекса.

Для учета вышеизложенного существует система зонирования, основанная на оценке наземного риска. В данной системе можно выделить три зоны (рисунок 6):

Зоны, где полеты физически невозможны или строго запрещены. К ним относятся постоянные объекты, превышающие высоту 150 м (отдельные высотные здания, опоры ЛЭП), а также временные препятствия (строительные краны, которые могут достигать 70-80 м).

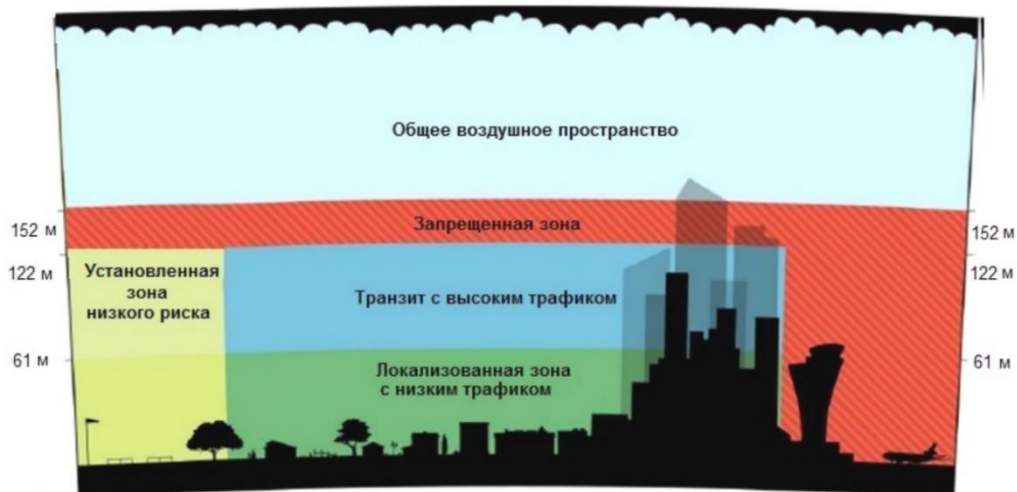
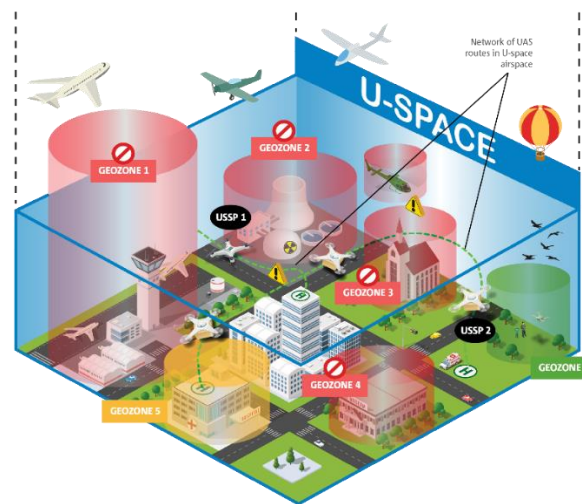


Рис. 6. Примеры систем зонирования воздушного пространства [2]

Зоны разрешительного порядка (Prior Permission Zones, PPZ) [10].

Зоны, где полет возможен, но нежелателен без предварительного разрешения в связи с соображениями безопасности, или приватности.

Зоны формируются на основе запросов к данным платформы БПЛА (тип объекта, активность человека). Например, зоны над больницами (имеющими вертодромы), тюрьмами, стадионами, электростанциями, правительственными зданиями, пешеходными улицами и крупными парками.

Зоны с минимальным уровнем уязвимости и человеческой активности на земле (промзоны, заброшенные территории, свалки).

Используются как буферные зоны для экстренных ситуаций: здесь дроны могут выполнять зависание или орбитальное движение для освобождения основного воздушного пространства, а также совершать аварийную посадку. Обычно остаются открытыми и ограничиваются только в случае необходимости.

Анализ зарубежного опыта применения БПЛА в городской среде позволяет выделить следующие ограничения на планировочную организацию территории для использования БПЛА в гражданских целях:

Ограничения, связанные с безопасностью полетов.

Санитарно-защитные зоны (СЗЗ): Вокруг заводов, АЗС и других опасных объектов устанавливаются зоны, где любая деятельность строго регламентирована. Пролёт БПЛА над ними может быть запрещен или сильно ограничен, что удлиняет логистические маршруты.

Зоны охраны объектов культурного наследия: В исторических центрах городов действуют строжайшие правила не только на строительство, но и на любую деятельность, включая полеты дронов, что полностью исключает их использование в этих районах.

2. Ограничения, связанные с функциональным зонированием территории:

- Жилые зоны. Нормы по шуму и вибрациям, защите частной жизни граждан. Массовые полеты курьерских дронов могут нарушать эти нормы, вызывая протесты жителей.

- Общественно-деловые зоны (ОДЗ). Здесь активность выше, ограничения связаны с высокой концентрацией людей и плотностью застройки. Риск падения дрона в толпу людей – ключевой сдерживающий фактор.

- Производственные и коммунально-складские зоны. Здесь ограничений меньше, их удаленность от жилых массивов, ради которых и нужна доставка, создает логистическую проблему.

3. Ограничения, связанные с системой нормативных требований: неразвитость нормативных требований к проектируемой инфраструктуре для БПЛА.

Физические наземные ограничения:

- Высота и плотность застройки: Высокие здания создают сильные аэродинамические потоки (ветровые коридоры), которые опасны для небольших БПЛА. Плотная застройка улиц ухудшает GPS-сигнал и радиосвязь.

- Инженерные коммуникации. Воздушные линии электропередач, мачты сотовой связи и другие объекты создают физические помехи для полетов на малых высотах.

Влияние этих ограничений на планировочную организацию территории осуществляется за счет деформации логистических схем, что снижает эффективность. Например, маршрут БПЛА место прямой линии от склада к клиенту вынужден огибать санитарные зоны, зоны охраны памятников и жилые районы. Это увеличивает время и стоимость полета. Также использование дронов становится возможным лишь для единичных задач в специфических локациях (например, доставка медикаментов между корпусами больницы в промзоне), но не может быть масштабировано на весь город. Кроме этого, воздушное пространство над городом – это ограниченный ресурс [9].

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что городская воздушная мобильность - это новая градостроительная подсистема, включающая в себя аппараты БПЛА и необходимую инфраструктуру для их применения. Данная область в настоящее время привлекает значительное внимание. В тоже время, научные исследования данной области градостроительства не получили развития в достаточной мере.

2. Проведенный анализ законодательных актов, нормативно-технических источников, а также технической литературы по организации полетов БПЛА свидетельствует о постоянном совершенствовании нормирования и регулирования логистических операций, работы служб

экстренного реагирования и пассажирских перевозок и обуславливает необходимость трансформации структурной организации градостроительных планировочных систем и принципов их нормирования и регулирования.

3. Систематизация практики гражданской эксплуатации БПЛА демонстрирует увеличение спектра оказания услуг населению посредством внедрения воздушной мобильности и требует соответствующего преобразования функционально-планировочной организации городских территорий и развития соответствующей инфраструктуры.

4. В ходе анализа зарубежного опыта выявлены следующие проблемы использования БПЛА:

- отсутствие систем предотвращения столкновений;
- высокие риски аварии, падений БПЛА, несовершенство автопилотов;
- недостаточная проработка правил, процедур сертификации и стандартизации БПЛА;
- отсутствие нормативной базы.

5. Интеграция движения БПЛА в городскую транспортную систему требует комплексного подхода, включающего:

- разработку нормативной базы, в том числе в области нормирования и стандартизации;
- развитие инновационной инфраструктуры для разработки и апробации новой техники и технологий;

- применение инновационной инфраструктуры управления полетами (связь, навигация, наблюдения, метеорологического мониторинга);

- строительство наземной инфраструктуры взлета и посадки;
- проведения стимулирующих организационных и управленческих мероприятий.

6. Инфраструктура БПЛА идентифицирована как сложная система, включающая:

- физический компонент (посадочные площадки и стоянки, зарядные и ремонтные станции, вышки связи);

- цифровой компонент (системы управления и навигации);

- воздушный компонент (низкоуровневые воздушные коридоры, зоны аэромобильности, зоны ограничения полетов).

7. Наиболее перспективной стратегией развития наземной физической инфраструктуры признана интеграция БПЛА во все функциональные зоны с ограничениями или запретом полетов для некоторых объектов. Для размещения физической инфраструктуры целесообразно предусматривать как на территории, так и на конструкциях зданий и сооружений.

8. Параметры элементов физической инфраструктуры определяются на основе характеристик БПЛА и сценариев их применения с минимальным размером площадок, зон безопасности и обязательного анализа препятствий для формирования безопасных коридоров.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интеграция Б в городскую среду – мировой тренд, задающий новые условия организации городской жизни. Это открывает многочисленные перспективы развития, однако, в российских условиях требует адаптации к климату, плотной застройке, особенностям нормативных ограничений и кибербезопасности.

Требуется также разработка модели инфраструктуры БПЛА для внедрения в транспортную систему городов.

На основе результатов перспективных исследований возможно формулирование ограничений использования беспилотников в территориальных зонах города, параметров площадок приземления и системы оповестительных знаков, безопасных коридоров для полетов в плотной городской и сельской местности. Усилия должны быть направлены на гармонизацию воздушного и градостроительного, земельного законодательства, разработку актуальных для российских городов стандартов и требований к инфраструктуре БПЛА, многоуровневой городской среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинский, А.С. «Требуют ли беспилотные системы особого регулирования?» Запись 1 дня международного форума «Крылья Сахалина». [Электронный ресурс] / САХАЛИН. – URL: <https://xn----7sba6aldpkinh5bzh.xn--p1ai/stream-drones> (дата обращения 22.11.2025).

2. Анализ национальных (США и стран Евросоюза) и международных программ, относящихся к созданию нормативной правовой базы в области использования воздушного

пространства беспилотными авиационными системами [Электронный ресурс] / Российские беспилотники. – URL: https://tender.russiadrone.ru/publications/2-analiz-natsionalnykh-ssha-i-stran-evrosoyuza-i-mezhdunarodnykh-programm-otnosyashchikhsya-k-sozdan/?utm_medium=organic&utm_source=yasmartcamera (дата обращения: 15.08.2025).

3. Анализ размера и доли рынка дронов – тенденции роста и прогноз (2025–2030 гг.). [Электронный ресурс] / MordorIntelligence. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/drones-market> (дата обращения 22.11.2025).

4. Аналитический отчет «Предварительные итоги 2022 года для рынка беспилотной авиации России». [Электронный ресурс] / AERONEXT Новое качество авиации. – URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2022-12-29_19-51-35_%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BA%D0%B0%20%D0%91%D0%90%D0%A1%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BC%202022%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0.pdf (дата обращения 22.11.2025).

5. Дмитрий Башкатов. «Инфраструктура для дронов: как подготовить города и регионы к массовой интеграции БАС.» Международный форум «Беспилотные системы: технологии будущего». [Электронный ресурс] / Беспилотные системы 2025 Технологии будущего. – URL: <https://xn--90avqk.xn--plai/> (дата обращения 22.11.2025).

6. Мониторинговые каналы БПЛА [Электронный ресурс] / RAKI-67. – URL: https://raki-67.ru/monitoringovye-kanaly-bpla?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения 22.11.2025).

7. Особенности систем GPS и ГЛОНАСС-мониторинга [Электронный ресурс] / Стрекоза грузоперевозки. – URL: https://strekoza.one/news/49?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения 22.11.2025).

8. Титков, О.С. Интеграция беспилотных авиационных систем в воздушное пространство (продолжение) [Текст] / О.С. Титков // Авиационные системы. – 2014. – №. 10. – С. 34-50. EDN: TFYHOP.

9. Al Haddad, C. Factors Affecting the Adoption and Use of Urban Air Mobility) [Текст] / Al Haddad C., E. Chaniotakis, A. Straubinger, K. Plötner, C. Antoniou // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2020. – Vol. 132. – Pp. 696–712. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2019.12.020>.

10. Amazon teases new details of planned Prime Air drone delivery service [Электронный ресурс] / URL: <http://appleinsider.com/articles/15/11/30/amazon-teases-new-details-of-planned-prime-air-drone-delivery-service> (дата обращения 13.08.2025)

11. Antcliff, K.R. Silicon Valley as an Early Adopter for On-Demand Civil VTOL Operations [Текст] / K.R. Antcliff, M.D. Moore, K.H. Goodrich // 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. – 2016. – P. 3466. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2016-3466>.

12. Cohen, A.P. Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges [Текст] / A.P. Cohen, S.A. Shaheen, E.M. Farrar // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2021. – Vol. 22, No. 9. – Pp. 6074–6087. DOI: 10.1109/TITS.2021.3082767.

13. DHL Express запустила первый регулярный маршрут автоматизированной доставки дронами в городских условиях [Электронный ресурс] / DroneFlyers URL: <http://droneflyers.ru/2019/05/22/dhl-express-zapustila-pervyj-regulyarnyj-marshrut-avtomatizirovannoj-dostavkidronamiv-gorodskih-usloviyah/>. 2021 (дата обращения 13.08.2025).

14. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945). [Электронный ресурс] / EASA Pro. – URL: <https://faa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9c2e4406710048e19806ebf6a06754ad> (дата обращения: 17.08.25).

15. Heutger, M. Unmanned aerial vehicles in logistics a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry [Текст] / M. Heutger, M. Kückelhaus // DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf, Germany. – 2014. DOI: 10.3390/su142114352.

16. Policy Document Library. [Электронный ресурс] / Federal Aviation Administration. – URL: https://www.faa.gov/uas/resources/policy_library (дата обращения: 17.08.2025).

17. Pradeep, P. Energy Demand Analysis for eVTOL Charging Stations in Urban Air Mobility [Текст] / P. Pradeep, A.G. Taye, P. Wei, J.C. Jones, T. Bonin, D. Eberle // AIAA AVIATION FORUM AND ASCEND 2024. – 2024. – P. 4627. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2024-4627>.
18. Rahman, B. Integrating Urban Air Mobility into a Public Transit System: A GIS-Based Approach to Identify Candidate Locations for Vertiports [Текст] / B. Rahman, R. Bridgelall, M.F. Habib, D. Motuba // Vehicles. – 2023. – Vol. 5, No. 4. – Pp. 1803–1817. DOI: <https://doi.org/10.3390/vehicles5040097>.
19. Rajendran, S. Air Taxi Service for Urban Mobility: A Critical Review of Recent Developments, Future Challenges, and Opportunities [Текст] / S. Rajendran, S. Srinivas // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2020. – Vol. 143. – P. 102090. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102090>.
20. Straubinger, A. An Overview of Current Research and Developments in Urban Air Mobility – Setting the Scene for UAM Introduction [Текст] / A. Straubinger, R. Rothfeld, M. Shamiyeh, K.-D. Büchter, J. Kaiser, K.O. Plötnner // Journal of Air Transport Management. – 2020. – Vol. 87. – P. 101852. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852>.
21. Summary of Shanghai's plan to develop low-altitude economy. [Электронный ресурс] / International Services Shanghai. – URL: <https://english.shanghai.gov.cn/en-PolicyInsights/20240823/f4177ae14c4449a68fb31f54d719f5eb.html> (дата обращения: 21.08.25).
22. Thippavong, D.P. Urban air mobility airspace integration concepts and considerations [Текст] / D.P. Thippavong // 2018 aviation technology, integration, and operations conference. – 2018. – С. 3676.
23. Thuy-Hang Tran Management and Regulation of Drone Operation in Urban Environment: A Case Study [Текст] / Thuy-Hang Tran, Dinh-Dung Nguyen // Social Sciences. – 2022. – № 11. – С. 474. DOI: 10.3390/socsci11100474.
24. Two delivery drones built by Google will soon be tested in the US. [Электронный ресурс] / URL: <http://www.techspot.com/news/62412-two-delivery-drones-built-google-soontested-us.html> (дата обращения: 17.08.2025)
25. UAS Map: Visualize it. See FAA UAS Data on a Map. [Электронный ресурс] / Federal Aviation Administration. – URL: <https://faa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9c2e4406710048e19806ebf6a06754ad> (дата обращения: 17.08.2025).
26. Van Egmond P., Panchal P. Integration of UAM Services in Sustainable Mobility and Transport Planning Processes and Other Relevant Policies Including Co-Modality [Текст] / P. Van Egmond, P. Panchal // AiRMOUR Project Deliverable D. – 2023. – Vol. 4.
27. Vascik, P.D. Development of Vertiport Capacity Envelopes and Analysis of Their Sensitivity to Topological and Operational Factors [Текст] / P.D. Vascik, R.J. Hansman // AIAA Scitech 2019 Forum. – 2019. – P. 0526. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2019-0526>.
28. Vertiports in the Urban Environment. [Электронный ресурс] / European Union Aviation Safety Agency. – 2019. – URL: <https://www.easa.europa.eu/it/light/topics/vertiports-urban-environment> (дата обращения: 24.04.2025).
29. 上海市人民政府办公厅关于印发《上海市低空经济产业高质量发展行案(2024-2027)》的通知. [Электронный ресурс] / 上海市人民政府. – URL: <https://www.shanghai.gov.cn/202416bgtwj/20240912/141da07dcbcf4d89809fbb9c10582a44.html> (дата обращения: 21.08.25).
30. 中华人民共和国国务院中华人民共和国中央军事委员会 [Электронный ресурс] / 中华人民共和国. – URL: https://www.gov.cn/zhengce/content/202306/content_6888799.htm (дата обращения: 21.08.25).
31. 深圳市低空基础设施高质量建设方案 (2024–2026年). [Электронный ресурс] / 深市发展和改革委员会 Development and Reform Commission of shenzhen Municipality. – URL: https://fgw.sz.gov.cn/zwgk/qt/tzgg/content/post_12305044.html (дата обращения: 21.08.25).

URBAN ENVIRONMENT AND UNMANNED AERIAL VEHICLES: FOREIGN EXPERIENCE

¹Leikina D. K., ²Leptiyhova O.U., ³Chirkova V.A.

¹JSC «Tsniiipromzdany», Moscow, Russian Federation

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

Annotation. The article discusses urban air mobility as a new urban planning subsystem in connection with the development of unmanned aviation based on an analysis of foreign experience in integrating unmanned aerial vehicles into urban planning practice and the regulatory framework. With the growth of the unmanned aerial vehicle market and demand for services in urban environments, it is critically important to accelerate the introduction of unmanned aerial vehicles into urban environments by adapting infrastructure for their safe use.

Objective. To identify the components of unmanned infrastructure and rules for UAV movement, influencing factors and restrictions on the development of the urban environment for UAV movement based on foreign experience.

Methods. Analysis of regulatory documents, scientific and technical literature, examples of the use of unmanned aerial vehicles, induction method.

Results. The use of unmanned aerial vehicles in the urban environment is forming a new urban planning subsystem that is actively developing and improving, but faces a number of problems. The article presents the results of an analysis of the composition of unmanned aerial vehicle infrastructure and restrictions on its use based on the experience of China, the United States, and the European Union. The prospects for the development of infrastructure for the operation of unmanned aerial vehicles, its possible parameters, and placement requirements have been established. The data obtained can be used to develop effective standards for multi-level

Keywords: unmanned aerial vehicles, air mobility, urban planning restrictions, regulations for unmanned aerial mobility.

Раздел 2. Проблемы организации строительства

УДК 697.112

ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Баденко В.Л.², Шкильнюк М.А.^{1,2}

¹Белорусско-Российский университет, 212000, Беларусь, г. Могилев, проспект Мира, 43, e-mail: eeld9696@gmail.com

²Инженерно-строительный институт (структурное подразделение), Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 195 251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, e-mail: vbadenko@gmail.com

Аннотация. В исследовании представлены результаты натуральных измерений термического сопротивления многослойных ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий, сгруппированных по категориям технического состояния, а также данные сопоставления фактических теплотехнических характеристик с проектными значениями. Установлено, что снижение фактического термического сопротивления относительно расчетного детерминировано преимущественно конструктивным решением и техническим состоянием ограждений, а не типом применяемых материалов. Для конструкций с монтажом теплоизоляции наблюдается систематическое занижение эксплуатационных показателей теплозащиты. Также установлено, что продолжительность эксплуатации и техническое состояние конструкций представляют собой наиболее существенный фактор деградации их теплотехнических характеристик, обуславливающий прогрессирующее снижение теплозащитных свойств в течение жизненного цикла здания.

Цель: установить влияние конструктивного исполнения и технического состояния ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий на отклонение фактического термического сопротивления от проектных значений, а также оценить соответствие теплозащитных свойств многослойных ограждающих конструкций заявленным характеристикам при различных категориях технического состояния.

Методы: натурные измерения термического сопротивления ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий. Группировка объектов по категориям технического состояния (от удовлетворительного до неработоспособного). Сравнительный анализ фактических теплотехнических характеристик с проектными значениями.

Результаты: Результаты исследования демонстрируют, что снижение фактического термического сопротивления относительно проектных значений на 6–41% обусловлено в первую очередь конструктивными особенностями (слоистость, наличие теплопроводных включений) и техническим состоянием (наличие дефектов, степень износа), тогда как влияние типа применяемых материалов не превышает 10%. Установлено, что монолитные конструкции (из кирпича или блоков) с теплоизоляцией соответствуют заявленным теплозащитным характеристикам исключительно при сохранении удовлетворительного технического состояния. Наибольшие отклонения от проектных параметров зафиксированы у конструкций, отнесенных к 4-й категории технического состояния.

Новизна: экспериментально доказано преобладающее влияние конструктивных и эксплуатационных факторов над типом материалов на снижение термического сопротивления ограждающих конструкций. Выполнена количественная оценка деградации теплозащитных свойств в зависимости от категории технического состояния с определением "критического порога", соответствующего 3-й категории и выше. Проведена верификация стабильности теплотехнических характеристик монолитных и сборных конструкций при соблюдении проектных требований к их монтажу и эксплуатации.

Ключевые слова: термическое сопротивление, ограждающие конструкции, утепление, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль входит в число ведущих мировых потребителей энергоресурсов, при этом значительная доля конечного энергопотребления, достигающая 40% в ЕС, 61% в Российской Федерации и 53% в Республике Беларусь [1–4], обусловлена работой отопительных систем. В глобальном масштабе на жилищный сектор приходится 60% энергопотребления строительной сферы, 36% выбросов CO₂ [5, 6] и 50% спроса на электроэнергию [7], что обусловило активизацию исследований, направленных на разработку релевантных энергетических моделей [8]. Учитывая, что доминирующий механизм теплопереноса реализуется через ограждающие конструкции, скрупулезный анализ их теплофизических характеристик представляет собой критически важный элемент проектирования [9, 10]. Сохраняющейся проблемой является дефицит методов системной идентификации и сквозного мониторинга в течение жизненного цикла объекта [11]. Нормируемое термическое сопротивление [12–16], служащее ключевым показателем, рассчитывается на основе регламентированных теплотехнических показателей материалов [17–20], однако их фактические эксплуатационные характеристики часто отклоняются от проектных вследствие ряда техногенных и эксплуатационных факторов [21–23].

Современный этап развития отечественной строительной отрасли, характеризующийся интенсификацией строительства, ужесточением нормативных требований и расширением

номенклатуры применяемых материалов и технологий, предопределяет повышенную значимость проблемы обоснования параметров конструктивных решений для ограждающих конструкций объектов жилищного строительства в контексте обеспечения их энергетической эффективности. Указанная проблема усугубляется наличием на территории РФ и РБ обширного парка зданий с высоким физическим износом, не соответствующих актуальным энергетическим нормативам, а также потребностью эксплуатационных организаций в оптимизации затрат, связанных с теплоснабжением. При этом существующий научный задел в области обоснования подобных решений обладает ограниченной практической значимостью, что связано со сложностью структурных взаимосвязей между их параметрами, условиями эксплуатации и результирующими показателями эффективности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В области исследований ограждающих конструкций жилых зданий научный ландшафт характеризуется наличием нескольких сформировавшихся школ, каждая из которых, однако, обладает определенными методологическими ограничениями. Так, работы, посвященные сравнительному анализу конструктивных решений и строительных материалов Hauser G., Sinnesbichler H., Park B. и др. [24-26], страдают от отсутствия формализованного математического аппарата, связывающего характеристики решений с результирующими показателями энергетической эффективности, что снижает их практическую применимость.

Исследования в области моделирования температурно-влажностных режимов Заборова Д. Д., Коряковцева (Мусорина) Т. А., Петриченко М. Р. и др. [27-28] предлагают динамические модели, но не содержат критериев для объективной оценки предпочтительности конкурирующих вариантов. Методологии, учитывающие дихотомию энергетической эффективности и экономической целесообразности (Gossard D., Thellier F. и др.), требуют дальнейшего развития в части повышения адекватности моделей и оптимизации вычислительных алгоритмов.

Широко исследуется влияние параметров теплоизоляционных материалов на теплофизические характеристики [28–30], а также потенциал цифровых систем для критического анализа и проектирования [31–36]. Проведенный обзор позволяет констатировать, что, несмотря на обширную теоретическую базу, сохраняется дефицит в интегрированных подходах, лишенных выявленных недостатков и позволяющих проводить объективное многокритериальное обоснование конструктивных решений на стадии проектирования.

Проблематике анализа взаимозависимостей между параметрами конструктивных решений для ограждающих конструкций объектов жилищного строительства и соответствующими показателями их энергетической эффективности посвящены исследования Saber H. H., Rahiminejad M. и соавторов [37–41].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование было направлено на установление влияния конструктивного решения и технического состояния многослойных ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий на величину отклонения их фактического термического сопротивления от проектных значений. Дополнительной задачей выступила оценка соответствия теплозащитных свойств указанных конструкций нормативным требованиям при различной степени их износа.

Достижение поставленной цели обеспечило решение ряда задач, включавших проведение комплекса натурных измерений термического сопротивления с применением прибора ИТП-МГ4.03 «Поток», определение сопротивления теплопередаче в соответствии с действующими нормативами [42-45] и выполнение серии замеров для многослойных ограждений в зданиях различных населенных пунктов.

Решение задач осуществлялось с применением комплекса методов, основу которого составили инструментальные натурные измерения, сравнительный анализ теплотехнических характеристик и группировка данных по категориям технического состояния. В статье представлены результаты измерений, выполненных для объектов в г. Могилев, г. Бельничи и г. Круглое.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Исследование базировалось на комплексе натуральных измерений термического сопротивления многослойных ограждающих конструкций зданий, расположенных в различных населенных пунктах. Метрологическое обеспечение экспериментов включало синхронную регистрацию параметров с использованием 5 датчиков плотности теплового потока и 5 температурных датчиков на каждую исследуемую конструкцию. Цикл измерений продолжительностью 24 часа с дискретностью 1 минуту обеспечил получение 7200 измерений на конструкцию. Согласно данным таблицы 1, анализ результатов подтвердил соответствие фактических значений сопротивления теплопередаче расчетным показателям для конструкций, находящихся в удовлетворительном техническом состоянии.

Таблица 1. Сравнение сопротивления теплопередаче, (м²·°C)/Вт

Описание здания, год постройки, расположение	Описание и толщина ограждающих конструкций	Термическое сопротивление, (м ² ·К)/Вт			Отношение фактического значения к расчетному, %	Категория технического состояния ограждающей конструкции
		по данным замеров (фактическое)	расчетное (проектное)	Нормативное		
Двухэтажное административное здание, (2003 г.), г. Бельничи	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	4,69	6,44	2,86	73%	3
Трехэтажный жилой дом, (2010 г.), г. Бельничи	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	4,93	6,44	2,86	77%	3
Двухэтажное административное здание, (1986 г.), г. Бельничи	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	4,28	6,44	2,86	66%	4
Трехэтажный жилой дом, (1998 г.), г. Бельничи	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	5,67	6,44	2,86	88%	2
Трехэтажный жилой дом, (1981 г.), г. Бельничи	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	5,93	6,44	2,86	92%	2
Пятиэтажный жилой дом, (2010 г.), г. Могилев	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,71	2,87	2,86	94%	2
Пятиэтажный жилой дом, (2001 г.), г. Могилев	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,20	2,87	2,86	76%	3
Пятиэтажный жилой дом, (1998 г.), г. Могилев	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,19	2,87	2,86	76%	3

Окончание таблицы 1

Описание здания, год постройки, расположение	Описание и толщина ограждающих конструкций	Термическое сопротивление, (м ² ·К)/Вт			Отношение фактического значения к расчетному, %	Категория технического состояния ограждающей конструкции
		по данным замеров (фактическое)	расчетное (проектное)	Нормативное		
Пятиэтажный жилой дом, (1989 г.), г. Могилев	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,91	2,87	2,86	66%	4
Трехэтажный жилой дом, (1977 г.), г. Могилев	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	4,10	6,44	2,86	63%	4
Трехэтажный жилой дом, (1986 г.), г. Могилев	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	5,63	6,44	2,86	87%	2
Шестиэтажный жилой дом, (2005 г.), г. Могилев	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,72	2,87	2,86	94%	2
Двухэтажное административное здание, (2004 г.), г. Круглое	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,46	2,87	2,86	86%	2
Трехэтажный жилой дом, (2010 г.), г. Круглое	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	5,92	6,44	2,86	92%	2
Двухэтажное административное здание, (1993 г.), г. Круглое	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	4,76	6,44	2,86	74%	3
Трехэтажный жилой дом, (2001 г.), г. Круглое	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	5,02	6,44	2,86	78%	3
Трехэтажный жилой дом, (1972 г.), г. Круглое	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем, 670 мм	3,61	6,44	2,86	56%	4
Пятиэтажный жилой дом, (2011 г.), г. Круглое	Силикатный кирпич 500 мм, минераловатный утеплитель 100 мм, вентилируемый фасад	2,31	2,87	2,86	81%	2

Проведенный анализ данных позволил выявить зависимость между отклонением расчетного и фактического термического сопротивления и характеристиками многослойных ограждающих конструкций. В таблице 2 представлены коэффициенты снижения термического сопротивления

(отношение фактического значения к расчетному) для различных типов ограждений. Полученные данные свидетельствуют о том, что наименьшее расхождение между фактическими и проектными показателями характерно для монолитных конструкций.

Таблица 2.

Снижение термического сопротивления разных видов ограждающих конструкций

Вид ограждающей конструкции	Отношение фактического значения к расчетному, %
Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем	76%
Силикатный кирпич, минераловатный утеплитель, вентилируемый фасад	81%

Дополнительно исследовалась корреляция между категорией технического состояния ограждающих конструкций и степенью деградации их термического сопротивления. Для количественной оценки данной зависимости были рассчитаны показатели расхождения для каждой категории таблица 3. Анализ результатов демонстрирует, что наибольшее отклонение фактических значений от проектных наблюдается у конструкций, имеющих 4-ю категорию технического состояния.

Таблица 3.

Снижение термического сопротивления по категориям технического состояния

Номер	Вид ограждающей конструкции	Категория технического состояния	Отношение фактического значения к расчетному, %
1	Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем	4 категория	61%
2		3 категория	76%
3		2 категория	89%
4	Силикатный кирпич, минераловатный утеплитель, вентилируемый фасад	4 категория	66%
5		3 категория	76%
6		2 категория	88%

На рисунке 1 представлена зависимость отношения фактического термического сопротивления к расчетному от категории технического состояния ограждающих конструкций. Анализ данных показывает, что максимальное снижение данного показателя характерно для конструкций 4-й категории. Основными причинами этой деградации являются существенные конструктивные дефекты, повышенная теплотехническая неоднородность (например, в кладке и стыках теплоизоляционных плит), несоответствие фактических свойств материалов проектным значениям и их значительное старение в процессе эксплуатации.

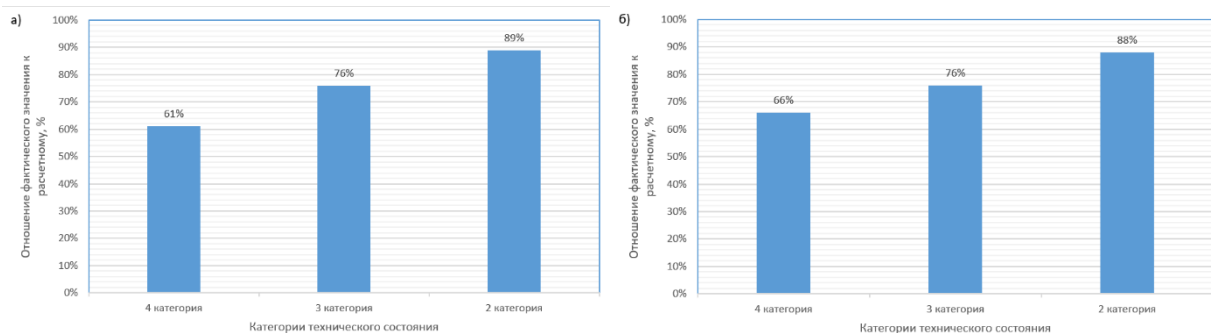


Рис. 1. Снижение термического сопротивления в зависимости от категории технического состояния:

- а) Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем; б) Силикатный кирпич, минераловатный утеплитель, вентилируемый фасад

В рамках исследования проведен анализ корреляции типа материала со степенью снижения термического сопротивления ограждающих конструкций. Расчетные показатели расхождения для различных материалов не демонстрируют статистически значимой дифференциации. Установлено,

что детерминирующими факторами уменьшения термического сопротивления являются конструктивные особенности и эксплуатационное состояние элементов, а не тип применяемого материала.

Выводы исследования свидетельствуют о необходимости оптимизации конструктивных решений и внедрения систем мониторинга технического состояния ограждающих систем. Особую значимость данный вывод имеет для сектора индивидуального жилищного строительства [46-48], где повышенный коэффициент компактности малоэтажных зданий приводит к увеличенному удельному энергопотреблению при идентичных ограждающих конструкциях и существенно возрастающим энергопотерям в случае наличия дефектов.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ позволяет утверждать, что снижение экспериментально определенного термического сопротивления относительно проектных значений в первую очередь детерминировано конструктивным исполнением и техническим состоянием ограждающих конструкций, а не типом используемых материалов.

Установлено, что многослойные конструкции (кладка с утеплителем) соответствуют теплотехническим характеристикам проектных значений при работоспособном состоянии, когда имеющиеся дефекты не нарушают функциональности, но потенциально сокращают расчетный срок службы.

Наибольшая деградация теплозащитных свойств характерна для конструкций 4-й категории технического состояния (неудовлетворительное, с высокой степенью повреждения), требующих безотлагательных мероприятий: ограничения эксплуатационных нагрузок, срочного усиления или замены. Восстановление конструктивно или экономически нецелесообразных элементов выполняется в первоочередном порядке.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке корректирующих коэффициентов для проектных расчётов и создании математических моделей, учитывающих деградацию термического сопротивления в зависимости от категории технического состояния (с выделением "критического порога"), типа конструктивного решения и климатических условий эксплуатации. Параллельно необходима оптимизация методов неразрушающего контроля, в частности развитие инструментальных методик для ранней диагностики скрытых дефектов и прогнозирования снижения термического сопротивления до перехода конструкций в неработоспособное состояние, а также автоматизация сбора данных с их привязкой к BIM-моделям.

ЛИТЕРАТУРА

1. EPBD, On the energy performance of buildings // Official Journal of the European Union., 2010. – С. 1-9.
2. Dixon, W. The impacts of construction and the built environment / W. Dixon // Briefing Notes, Willmott-Dixon Group. – 2010 – С. 1-8.
3. Саакян, В. М. Эффективность энергосберегающих технологий утеплений фасадов / В. М. Саакян, И. В. Лагута // International scientific news 2017 : XXVIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 22 декабря 2017 года. – М.: Научный центр "Олимп", 2017. – С. 182-184.
4. Аноп, К. М. Энергоэффективная недвижимость в Беларуси / К. М. Аноп // Культура и экология - основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики, Екатеринбург, 13–16 апреля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Кафедра культурологии и дизайна. Том Часть 1. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. – С. 149-152.
5. Poel, B. Energy performance assessment of existing dwellings / B. Poel, G. van Cruchten, С.А. Balaras // Energy and buildings. – 2007. – Т. 39. – №. 4. – С. 393-403.

6. Hasan, O. A. simplified building thermal model for the optimization of energy consumption: Use of a random number generator / O. A. Hasan, D. Defer, I. A. Shahrour // *Energy and Buildings*. – 2014. – Т. 82. – С. 322-329.
7. Li, H. X. Energy performance optimisation of building envelope retrofit through integrated orthogonal arrays with data envelopment analysis / H. X. Li et al // *Renewable energy*. – 2020. – Т. 149. – С. 1414-1423.
8. Li, X. Review of building energy modeling for control and operation / X. Li., J. Wen // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Т. 37. – С. 517-537.
9. Kesik, T. J. Building enclosure design principles and strategies / T. J. Kesik // *Whole Building Design Guide. A Program of the National Institute of*. – 2014. – 262 p.
10. Yuan, J. Impact of insulation type and thickness on the dynamic thermal characteristics of an external wall structure / J. Yuan // *Sustainability*. – 2018. – Т. 10. – №. 8. – С. 2835.
11. Adhikari, P. et al. Life-cycle cost and carbon footprint analysis for light-framed residential buildings subjected to tornado hazard / P. Adhikari et al. // *Journal of Building Engineering*. – 2020. – Т. 32. – С. 101657.
12. Ибрашева, Л. Р. Энергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве России / Л.Р. Ибрашева // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – Т. 15. – №. 7. – С. 224-229.
13. Косухин, М. М. и др. Вопросы энергосбережения в условиях устойчивого функционирования, модернизации и развития жилищного фонда / М. М. Косухин // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова*. – 2016. – №. 10. – С. 51-61.
14. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
15. Малявина, Е. Г. Определение теплотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта / Е.Г. Малявина, Д.С. Иванов // *Вестник МГСУ*. – 2011. – №. 7. – С. 209-215.
16. Кушев Л. А. Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве / Л.А. Кушев, Г.Л. Дронова // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова*. – 2008. – №. 2. – С. 24-25.
17. Гушин, С. В. Мировые тенденции развития энергосберегающих технологий / С.В. Гушин, А.С. Семенов, Ч. Шень // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г Шухова*. – 2020. – №. 5. – С. 31-43.
18. Тарасенко, В. Н. Проблема энергосбережения в России / В.Н. Тарасенко, Ю.В. Денисова // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г Шухова*. – 2016. – №. 11. – С. 63-68.
19. Шубин, И. Л. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли / И.Л. Шубин, А.В. Спиридонов // *Энергосбережение*. – 2013. – №. 1. – С. 15-21.
20. Кузнецов, А. В. Оценка теплотехнических качеств зданий монолитной конструкции Санкт-Петербурга / А.В. Кузнецов // *Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий*. – 2011. – С. 35-43.
21. Гагарин, В. Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий / В.Г. Гагарин // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2009. – №. 5. – С. 297-305.
22. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий / Е.Г. Малявина // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. – 2009. – №. 1. – С. 4-7.
23. Гурьянов, Н. С. Оценка и обеспечение тепловой надёжности наружных стен эксплуатируемых зданий: дис.... канд. техн. наук: 05.23. 03 / Гурьянов Николай Сергеевич. – Нижний Новгород, 2003. – 232 с : дис. – Гурьянов Николай Сергеевич. Нижний Новгород, 2003, 2003.
24. Hauser, G. Experimental and numerical investigations for comparing the thermal performance of infrared reflecting insulation and of mineral wool / G. Hauser, M. Kersken, H. Sinnesbichler, A. Schade // *Energy and Buildings*. – 2013. – Vol. 58. – Pp. 131–140. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.033.

25. Park, B. Energy performance analysis of variable thermal resistance envelopes in residential buildings / B. Park, W. V. Srubar, M. Krarti // *Energy and Buildings*. – 2015. – Vol. 103. – Pp. 317–325. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.061.
26. Ambli, K. G. Heterogeneous composites for low and medium temperature thermal insulation: A review / K. G. Ambli, B. M. Dodamani, A. Jagadeesh, M. B. Vanarotti // *Energy and Buildings*. – 2019. – Vol. 199. – Pp. 455–460. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.07.024.
27. Гагарин, В. Г. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае / В. Г. Гагарин, Ч. Чжоу // *Жилищное строительство*. – 2015. – № 7. – С. 18–22. – EDN: VCLZVT.
28. Гагарин, В. Г. Перспективы применения актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» для снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции / В. Г. Гагарин, А. Ю. Неклюдов // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. – 2015. – № 6(41). – С. 80–87. – EDN: XNOAXZ.
29. Ma, Y. et al. Study on power energy consumption model for large-scale public building / Y. Ma et al. // *2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*. – IEEE, 2010. – С. 1-4.
30. Баденко, В. Л. Оценка теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на основе их технического состояния / В. Л. Баденко, М. А. Шкильнюк // *Экономика строительства и природопользования*. – 2025. – № 1(94). – С. 50-57. – EDN YYWWDX.
31. Alam, M. J. Energy simulation to estimate building energy consumption using EnergyPlus / M. J. Alam, M. A/ Islam, B. K. Biswas // *International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*. – 2014. – С. 25-26.
32. Hardin, B. BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows / B. Hardin, D. McCool. – John Wiley & Sons, 2015. – 363 p.
33. Knowles, T. R. Proportioning composites for efficient thermal storage walls / T.R. Knowles // *Solar Energy*. – 1983. – Т. 31. – №. 3. – С. 319-326.
34. Asan, H. Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view / H. Asan // *Energy and buildings*. – 2000. – Т. 32. – №. 2. – С. 197-203.
35. Asan, H. Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor / H. Asan // *Energy and buildings*. – 1998. – Т. 28. – №. 3. – С. 299-305.
36. Sultanguzin, I. A. et al. Using of BIM, BEM and CFD technologies for design and construction of energy-efficient houses / I. A. Sultanguzin et al. // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2019. – Т. 124. – С. 03014.
37. Saber, H. H. Practical correlations for the thermal resistance of vertical enclosed airspaces for building applications / H. H. Saber // *Building and Environment*. – 2013. – Vol. 59. – Pp. 379–396. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.09.003.
38. Мусорина, Т. А. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений / Т. А. Мусорина, О. С. Гамаюнова, М. Р. Петриченко // *Вестник МГСУ*. – 2017. – Т. 12, № 11(110). – С. 1269–1277. – DOI: 10.22227/1997-0935.2017.11.1269-1277. – EDN: TAUMWV.
39. Горшков, А. С. Теплопроводность облицовочного каменного слоя из керамического пустотелого кирпича при различной степени заполнения пустот строительным раствором / А. С. Горшков, В. Я. Ольшевский, Р. А. Горшков // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2018. – № 9–10(236–237). – С. 26–33. – EDN: RIJNXD.
40. Горшков, А. С. Анализ тепловых нагрузок и удельного потребления тепловой энергии в многоквартирных домах / А. С. Горшков, М. С. Кабанов, Ю. В. Юферев // *Теплоэнергетика*. – 2021. – № 8. – С. 72–80. – DOI: 10.1134/S0040363621050052. – EDN: NZHXEX.
41. Rahiminejad, M. Numerical and experimental study of the dynamic thermal resistance of ventilated air-spaces behind passive and active façades / M. Rahiminejad, D. Khovalyg // *Building and Environment*. – 2022. – Vol. 225. – No. 109616. – DOI: doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109616.
42. Gerrish, T. et al. BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential / T. Gerrish et al // *Energy and buildings*. – 2017. – Т. 144. – С. 218-228.
43. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 2013-07-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 96 с.

44. ГОСТ 26254-84 (1994). Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введ. 1985-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 34 с.
45. СП 2.04.01-2020. Строительная теплотехника. – Введ. 20.01.2021 (с отменой ТКП 45-2.04-43-2006 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2020. – 76 с.
46. Комаров, С. И. Развитие рынка земельных участков под индивидуальное жилищное строительство вокруг крупных мегаполисов (на примере Московского региона) / С.И. Комаров, Г.В. Ломакин // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2005. – №. 3. – С. 96-103.
47. Лещенко, П. И. Анализ состояния и развития объектов жилищного строительства в Республике Беларусь / П.И. Лещенко, Т.Р. Кисель // Наука и техника. – 2012. – №. 3. – С. 78-84.
48. Тарасевич, М. А. Оценка роста сегмента «энергоэффективный дом» в индивидуальном жилищном строительстве Республики Беларусь. – Биэкономика – экономика будущего : материалы I Междунар. науч. студен. конф., Минск, 29 нояб. 2022 г. / М.А. Тарасевич, Е.М. Карпенко // Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. А. Королёва (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2023. – С. 40-44.
49. Жиленко О.Б., Строительство и эксплуатация модульных домов в природно-климатических условиях РЕСПУБЛИКИ КРЫМ / О.Б. Жиленко, Д.А. Маринич // Экономика строительства и природопользования. – 2025. – № 2(95). – С. 36 - 43.

ASSESSMENT OF THERMAL CHARACTERISTICS OF MULTILAYERED FENCING CONSTRUCTIONS BASED ON THEIR TECHNICAL CONDITION

²Badenko V. L., ^{1, 2}Shkilniuk M. A.

¹Belarusian Russian University, Mogilev, Republic of Belarus;

²Saint Petersburg State Polytechnical University, Saint Petersburg, Russian Federation

Annotation. The study presents the results of field measurements of the thermal resistance of multilayer building envelopes of in-service buildings, grouped by categories of technical condition, as well as data comparing actual thermal performance characteristics with design values. It was established that the reduction in actual thermal resistance relative to the design value is determined primarily by the structural design and the technical condition of the envelopes, rather than by the type of materials used. For structures with installed thermal insulation, a systematic underestimation of operational thermal protection performance is observed. It was also found that the duration of operation and the technical condition of the structures represent the most significant factor in the degradation of their thermal characteristics, leading to a progressive decrease in thermal protection properties throughout the building's lifecycle.

Keywords: thermal resistance, enclosing structure, insulation, energy efficiency.

УДК 504.75

РОЛЬ УРБАНИЗАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Гиясов Б.И.¹, Шунько А.А.², Бондаренко В.-А.А.³

^{1, 2, 3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское шоссе, 26;

²e-mail: natshunko@rambler.ru

Аннотация: ухудшение экологии в современных мегаполисах представляет собой одну из наиболее актуальных проблем нашего времени. Рост численности населения городов, способствующее стремительному развитию городских территорий и активным развитием промышленности существенно изменили природную среду, что привело к загрязнению городской среды. Кроме того, особенности городской инфраструктуры, такие как высокая плотность застройки, преобладание асфальтированных и бетонных поверхностей, недостаток зелёных зон, а также тепловые выбросы от транспорта, промышленных предприятий и систем отопления, способствуют формированию явления, известного как «тепловой остров города». В рамках данной работы исследуются основные экологические вызовы, с которыми сталкиваются мегаполисы, и анализируются ключевые факторы, влияющие на состояние городской экосистемы. Особое внимание уделено изучению воздействия солнечной радиации на микроклимат и качество воздушной среды.

Ключевые слова: экология, городская среда, плотная застройка, мегаполис, конвективные потоки, воздухообмен, альbedo, воздушный бассейн, энергопотребление, теплопотери.

ВВЕДЕНИЕ

Современным крупным городам и мегаполисам характерны множество экологических проблем, такие как загрязнение атмосферы, изменения климата и истощение природных ресурсов. Урбанизация и активный экономический рост, способствует развитию городских территорий и оказывает значительное воздействие на экологический баланс городов. Среди наиболее значимых проблем можно выделить загрязнение атмосферы, которое связано с выбросами вредных веществ от автомобилей, промышленных предприятий и бытовых источников. Загрязнение воздуха не только ухудшает качество жизни людей, но и оказывает разрушительное воздействие на окружающую среду, способствуя глобальному изменению климата. Изменения климата, в свою очередь, приводят к экстремальным погодным условиям, таким как сильные дожди, наводнения, засухи и аномальная жара, что создает дополнительные трудности для городов и их жителей.

Кроме того, урбанизация сопровождается строительством новых жилых, коммерческих и промышленных объектов, что требует все большего количества природных материалов и приводит к нарушению экологического баланса. Расширение городских территорий нередко связано с вырубкой лесов, загрязнением водоемов и деградацией почв, что также усугубляет экологическую ситуацию.

Активный экономический рост и развитие городских территорий, безусловно, способствуют повышению уровня жизни населения, созданию новых рабочих мест и улучшению инфраструктуры. Однако такое развитие оказывает значительное воздействие на окружающую среду, в связи с ростом численности населения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Увеличение численности городского населения усиливает антропогенное давление на инфраструктуру мегаполисов, что приводит к росту потребления энергоресурсов и выбросу большого объема загрязняющих веществ в окружающую среду [1,2].

Здания, являясь основными элементами городской среды, активно потребляют энергоресурсы и значительно влияют на загрязнение экологии окружающей среды. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), здания потребляют около 30% мировой энергии, вследствие чего, примерно 28% углекислого газа выбрасывается ими в окружающую среду. Сокращение использования энергетических ресурсов в городской инфраструктуре, включая здания и сооружения, способствует снижению выбросов вредных веществ, таких как оксиды азота и серы, что оказывает положительное влияние на экологическую обстановку.

В результате улучшается качество воздуха в городских районах, что благоприятно отражается на здоровье населения.

На изображении 1 [3] показано, как распределяется энергопотребление между различными отраслями в странах Европы.

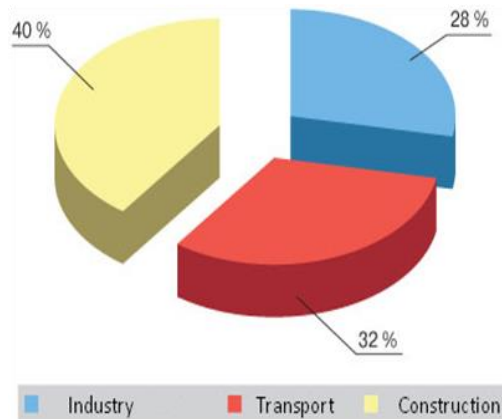


Рис. 1. Потребление энергии по отраслям

Энергия, необходимая для отопления, охлаждения, освещения и других нужд в зданиях современных мегаполисов, в основном поступает из традиционных энергетических ресурсов. В то же время, на отопление жилых домов приходится около 50% общего расхода энергии. Уменьшение теплопотерь и использование современных энергоэффективных технологий в строительстве являются действенными способами сокращения расходов на отопление, что одновременно способствует улучшению экологической обстановки. Поэтому повышение энергоэффективности построек становится еще одним важным фактором в улучшении экологической ситуации в городах.

Уровень энергопотребления современных городских зданий определяется климатическими особенностями местности, в которой они находятся. Климатические условия города формируются под влиянием его географического расположения.

Географическое положение напрямую влияет на климатические условия, в которых находятся города. Природные явления, связанные с макроклиматом, мезоклиматом и микроклиматом, характерны для крупных регионов, мегаполисов и урбанизированных территорий.

Природные явления, отражающие климатические особенности обширных географических регионов, принято относить к категории макроклиматических. Примером таких явлений могут служить климатические условия, характерные для Сибири, республик Закавказья и Центральной Азии. Влияние человека на макроклиматические процессы крайне ограничено, и управлять ими невозможно.

Мезоклиматические явления, в свою очередь, охватывают климатические особенности, присущие более локализованным территориям, таким как города. Возводя высотные здания, создавая искусственные покрытия и мощёные территории, человек способен оказывать воздействие на мезоклимат, изменяя его параметры.

Что касается микроклиматических явлений, то они проявляются на ещё меньших масштабах - на уровне отдельных улиц, дворовых пространств или помещений. Эти процессы поддаются регулированию и управлению, что позволяет адаптировать их под нужды человека.

Микроклиматические явления играют ключевую роль не только в формировании природно-климатических характеристик конкретной местности, но и в улучшении экологической обстановки в зонах, где осуществляется жизнедеятельность человека [4, 5].

Таким образом, территориям городского пространства характерны микроклиматические явления, которые имеют очаговый характер своего возникновения и являются регулируемым и управляемым.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В условиях стремительного роста численности населения городов активно развивается плотность городской застройки и транспортных потоков.

В результате этого, микроклиматические условия климата и воздухообмен городских территорий подвергаются значительным изменениям. На территориях городов-миллионников с плотной высотной застройкой формируются обширные зоны с концентрацией загрязняющих выбросов и застоями воздушных масс. По данным Федеральной службы государственной статистики по состоянию на 2023 год в России выделены 16 городов-миллионников (рисунок 2).

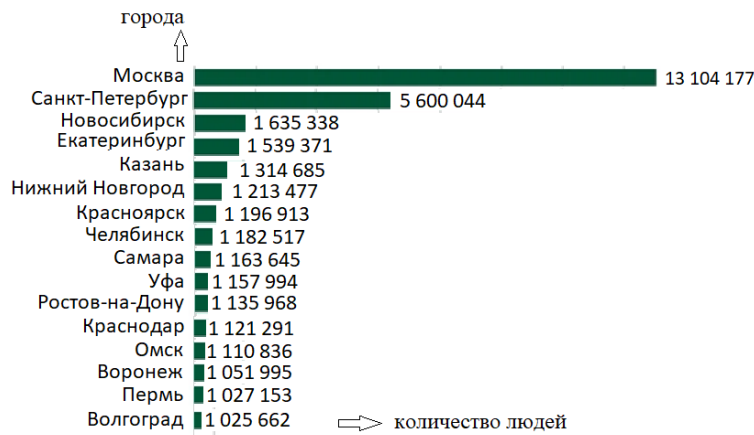


Рис. 2. Города-миллионники в России

В этих городах современные районы с плотной застройкой становятся источником множества проблем, включая загрязнение воздуха и повышенный уровень шума, что негативно сказывается на здоровье жителей. Более того, такие урбанизированные территории, поглощая солнечное излучение, накапливают тепло, а в сочетании с высокой концентрацией вредных веществ в атмосфере способствуют формированию так называемого «теплового острова» в городской среде (рисунок 3) [6].



Рис. 3. Городской остров тепла

Возникновение «острова тепла» связано с включением в городскую архитектуру огромного количества элементов, сохраняющих тепло, таких как бетон, асфальт, металлы, стекло и другие. Из-за чего в крупных городах уменьшается альбедо (таблица 1) [6], что приводит в условиях плотной застройки к более интенсивному по сравнению с незастроенными территориями поглощению солнечной радиации, накоплению конструкциями зданий и сооружений поглощенного днем тепла с его отдачей в атмосферу в вечерние и ночные часы.

Таблица 1.
Тип поверхности и соответствующее значение альбедо

№	Вид поверхности	Значение альбедо
1	Асфальт	0,05-0,20
2	Бетон	0,10-0,35
3	Метал	0,10-0,15
4	Стекло	0,75-0,90
5	Газон	0,25-0,30
6	Почва	0,10-0,30

Вследствие формирования «острова тепла» в городских территориях наблюдается повышение температуры и увеличение озона в приземном слое атмосферы. Плотная городская застройка

усугубляет воздухообмен и способствует концентрации выбросов транспортных средств и теплоэлектростанций в воздушном бассейне жилых территорий. Вследствие сжигания угля и нефти выделяется газ - диоксид серы, который приводит к загрязнению не только воздушного бассейна, но и рек и почвы. При этом, возникающий в городских территориях «остров тепла» изменяя микроклимат и воздухообмен ухудшает качество воздуха, что может вызывать у горожан различные заболевания дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

Таким образом, градостроительные, природно-климатические и антропогенные факторы можно отнести к основным факторам, формирующим экологию воздушного бассейна городских территорий.

Одним из способов улучшения экологии воздушного бассейна территорий является обеспечение необходимого воздухообмена. В плотнозастроенных междомовых территориях современных городов образуются замкнутые пространства, где нарушен аэрационный режим. В жаркое время года, под воздействием солнечной радиации, эти пространства накапливают тепло и при отсутствии воздухообмена создают неблагоприятные микроклиматические условия. Кроме того, здесь формируются устойчивые зоны с концентрацией загрязняющих веществ. С другой стороны, при неравномерном нагреве различных участков городской территории создаются градиенты давления и формируются движение воздушных масс, которые могут обеспечить воздухообмен.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для исследования этих процессов, был проведен анализ дворовой территории в городе Королев в июле месяце и проведен графоаналитический метод исследования. В результате проведенного исследования и анализа полученных данных была создана модель, описывающая процесс формирования воздушных потоков термического происхождения под воздействием инсоляции (рисунок 4).

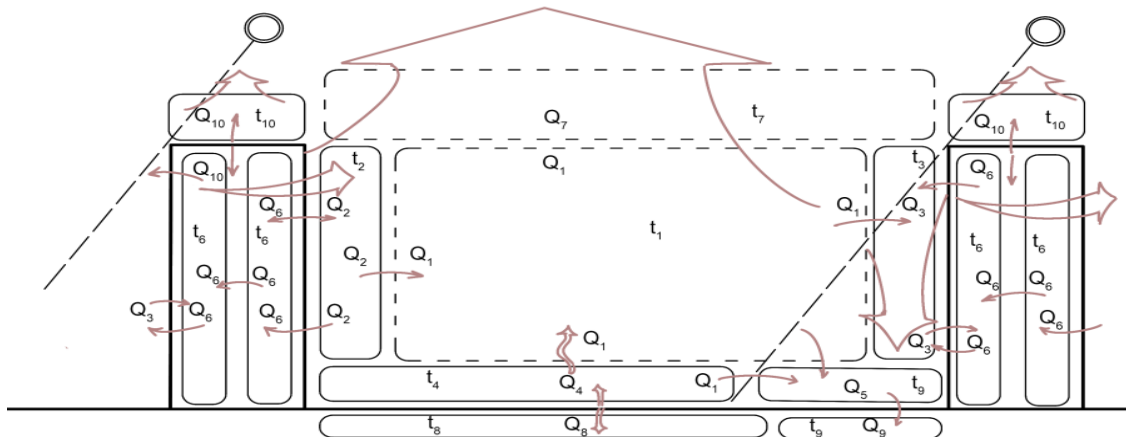


Рис. 4. Модель образования конвективных воздушных потоков в пределах дворового пространства

Анализ климатических и микроклиматических условий дворового пространства показал, что в дневные часы наблюдается высокая интенсивность солнечного излучения, достигающая 610 Вт/м^2 на вертикальных поверхностях и 840 Вт/м^2 на горизонтальных. Кроме того, фиксируются повышенные температуры воздуха, с абсолютными максимумами до 30°C , а также слабые ветровые потоки ($1\text{--}3 \text{ м/с}$) или полное их отсутствие в виде штиля. Планировочные факторы застройки формируют неблагоприятные аэродинамические условия. На обжитых замкнутых жилых территориях в ветреные часы наблюдается снижение скорости ветра на $60\text{--}70\%$, а в маловетренные часы формируются штилевые условия со скоростью воздушных масс всего до 2 м/с . При таких условиях важную роль в воздухообмене территорий могут играть конвективные воздушные потоки, формирующиеся под воздействием солнечной радиации, скорость которых может достигать до 10 м/с . Такие конвективные потоки улучшают аэрацию междомовых пространств и могут играть важную роль в улучшении экологии воздушного бассейна городских территорий [7-8].

Таким образом, в современной городской застройке солнечная радиация может не только увеличивать экологическую нагрузку, но и создавать благоприятные условия для формирования

воздушных потоков термического происхождения и улучшать воздухообмен замкнутых междомовых территорий. Важную роль в движении воздушных потоков термического происхождения играет условие озеленения дворовых территорий. Исследования дали возможность смоделировать формирование воздушных конвективных потоков дворового пространства при разных условиях озеленения (рисунок 5).

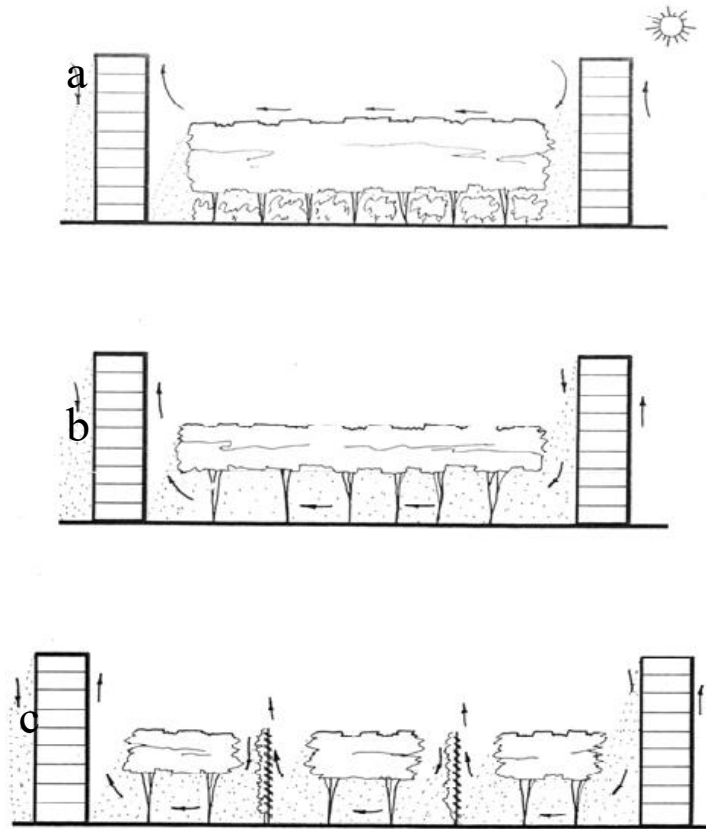


Рис. 5. Влияние типа озеленения дворовой территории на формирование воздушных потоков
 а - озеленение с низким штамбом и крупной кроной; б - озеленение с высоким штамбом и крупной кроной;
 с - разделение обширного пространства двора с помощью жалюзийных стенок

ВЫВОДЫ

Представленные модели наглядно иллюстрируют, что мероприятия, направленные на озеленение и благоустройство территорий между зданиями, оказывают существенное влияние на формирование локальных метеорологических процессов, включая воздушную циркуляцию, вызванную температурными контрастами. Эти явления играют важнейшую роль в создании благоприятных микроклиматических условий и в улучшении экологической ситуации в городской среде. Возникающая при этом локальная циркуляция способствует сложным процессам переноса и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, что положительно отражается на состоянии окружающей среды.

В результате можно выделить следующие основные признаки формирования локальной циркуляции воздуха в дворовых пространствах:

- формирование под влиянием инсоляции разности температур между соседними поверхностями застройки, а также между воздушными слоями у поверхностей;
- образование двух воздушных слоев, в которых направление ветра при переходе из одного слоя в другой может резко изменяться, вплоть до противоположного (180°);
- появление температурной инверсии в переходном слое, сопровождающееся снижением скорости ветра.

Таким образом, для обеспечения естественного воздухообмена городской среды, необходимо учитывать влияние солнечной радиации на деятельную поверхность городской застройки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В итоге можно отметить, что крупнейшим городам и мегаполисам характерна современная

плотно застроенная территория, которая формирует особые микроклиматические условия с экстремальной экологией.

В процессе развития городских территорий, растет население городов и интенсивность транспортного движения. Активная хозяйственная деятельность, связанная с ростом населения, увеличивает антропогенную нагрузку. Плотная высотная застройка нарушает аэрацию городской среды и способствует концентрации загрязняющих выбросов в воздушный бассейн из-за недостатка воздухообмена. Под влиянием солнечной радиации в дворовых территориях, могут возникать конвективные потоки термического происхождения, которые способны улучшить аэрационный режим.

Соответственно, представляется необходимым проводить оптимизацию планировки и озеленение территорий, осуществлять ориентацию зданий, относительно сторон света, с выбором материала фасадов и придомовых территорий, которые будут способствовать формированию конвективных потоков и улучшать воздухообмен городских построек, а также, вносить свой вклад в улучшение экологии городских территорий.

В качестве перспективы дальнейших исследований, следует выполнить несколько проектов новых микрорайонов и внедрить в практическое применение предложенные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сигора, Г.А. Проблема влияния урбанизации на качество жизни населения города Севастополя [Текст] / Г.А. Сигора, Л.А. Ничкова, Т.Ю. Смоленская // Экономика строительства и природопользования. – 2025. – № 1 (94). – С. 5-13.

2. Баденко, В.Л. Оценка теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на основе их технического состояния [Текст] / В.Л. Баденко, М.А. Шкильнюк // Экономика строительства и природопользования. – 2025. – № 1 (94). – С. 52-59.

3. Шойхет, Б.М. Концепция энергоэффективного здания [Текст] / Б.М. Шойхет. // Энергосбережение. – 2007. – № 7. – С. 62-66.

4. Pioppi, B. Wearable sensing techniques to understand pedestrian-level outdoor microclimate affecting heat related risk in urban parks [Text] / B. Pioppi, A.L. Pisello, P. Ramamurthy // Solar Energy. – 2021. – Volume 8. – Article 104626. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.076>.

5. Степанова, Н.В. Влияние комплекса метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха города [Текст] / Н.В. Степанова, А.П. Шлычков // Казанский медицинский журнал. – 2004. – Т. 4. – Вып. 5. – 380 с.

6. Ким, Д.А. Влияние городского острова тепла на микроклимат урбанизированного пространства [Текст] / Д.А. Ким // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 12. – DOI: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n12y2021/7470>.

7. Tovarović, J.Č. Renovation of existing glass facade in order to implement energy efficiency and media façade [Text] / J.Č. Tovarović, J. Ivanović-Šekularac, N. Šekularac // Energy and Buildings. – 2017. – № 152. – С. 653-666.

8. Малявина, Е.Г. Расчет воздушного режима многоэтажных зданий с различной температурой воздуха в помещениях [Текст] / Е.Г. Малявина // АВОК. – 2008. – № 2. – С.12-14.

THE ROLE OF URBANIZATION IN FORMING THE ECOLOGY OF THE URBAN ENVIRONMENT

¹Giyasov B.I., ²Shunko A.A., ³Bondarenko V.-A.A.

^{1,2,3}National Research Moscow State University of Civil Engineering

Annotation. The environmental situation in modern megacities is one of the most pressing and pressing issues of our time. Rapid urban Expansion, population growth, and the rapid development of the industrial sector have significantly altered the natural environment, leading to air, water, and soil pollution. Furthermore, urban infrastructure features such as high building density, the prevalence of asphalt and concrete surfaces, a lack of green spaces, and heat emissions from transport, industrial plants, and heating systems contribute to the phenomenon known as the "urban heat island." This paper examines the key environmental challenges facing megacities and analyzes the key factors influencing the state of the urban ecosystem. Particular attention is paid to the impact of solar radiation on the microclimate and air quality.

Keywords: ecology, urban environment, dense development, megalopolis, convective currents, air exchange, albedo, air basin, energy consumption, heat loss.

Раздел 3. Экологическая безопасность

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 $W = f(\Sigma V_i)$ 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 $f(\Sigma V_i)$ 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.

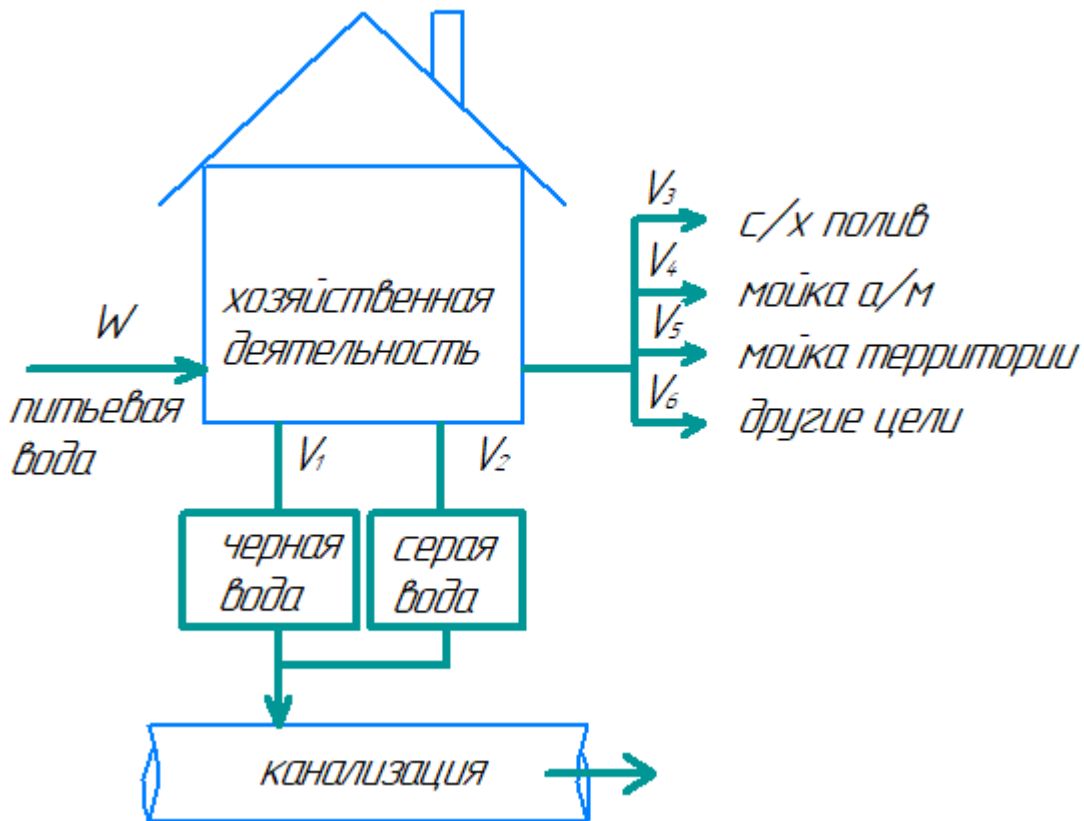


Рис. 1. Использование воды в типичных домохозяйствах

Из рисунке 1 видно, что $W \geq \Sigma V_i \geq V_1 + V_2$, 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 рисунке 2.

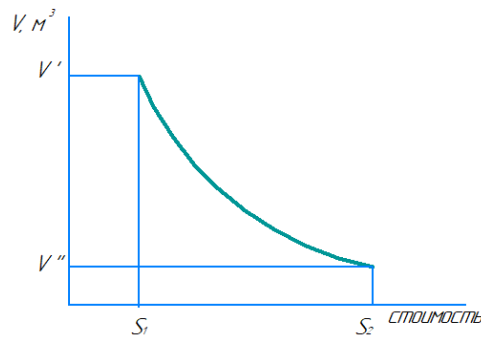


Рис. 2. Характерная зависимость объема потребляемой воды от ее стоимости

Положение кривой $V = f(S)$ на графике рисунке 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 рисунке 3 приведена типичная схема повторного использования серой воды.

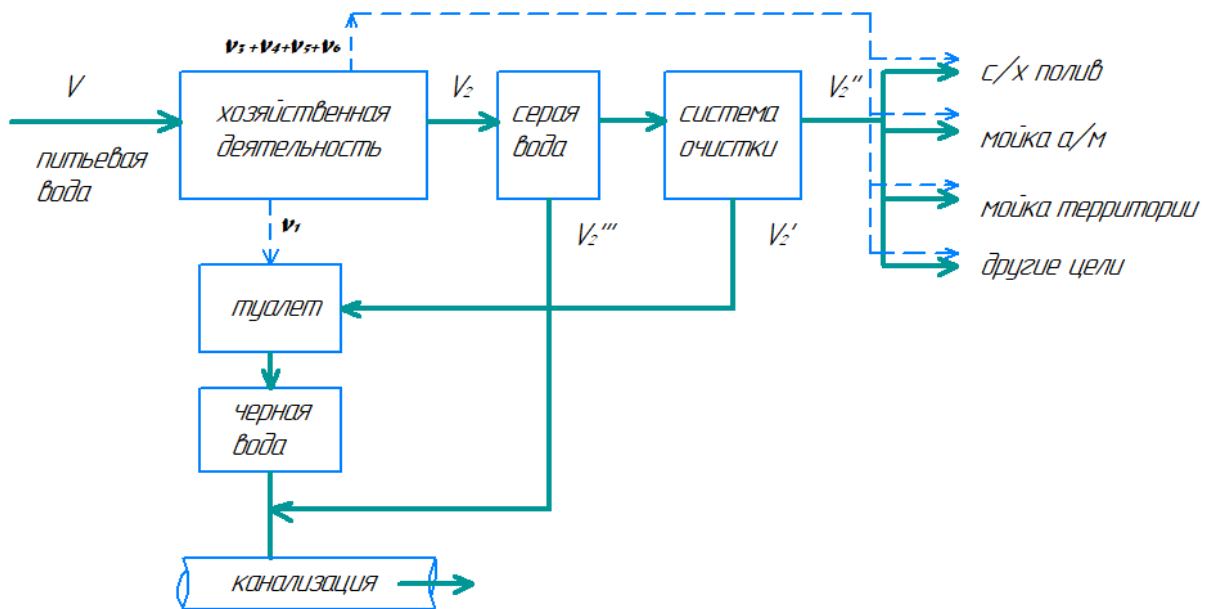


Рис. 3. Типичная схема рециклинга серой воды:
 где, v_1, v_3, v_4, v_5 и v_6 – уменьшенные объемы питьевой воды при возможности повторного использования «серой воды» в объеме $V_2 = V_2' + V_2'' + V_2'''$

Из рисунке 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. рисунке 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 рисунке 4.

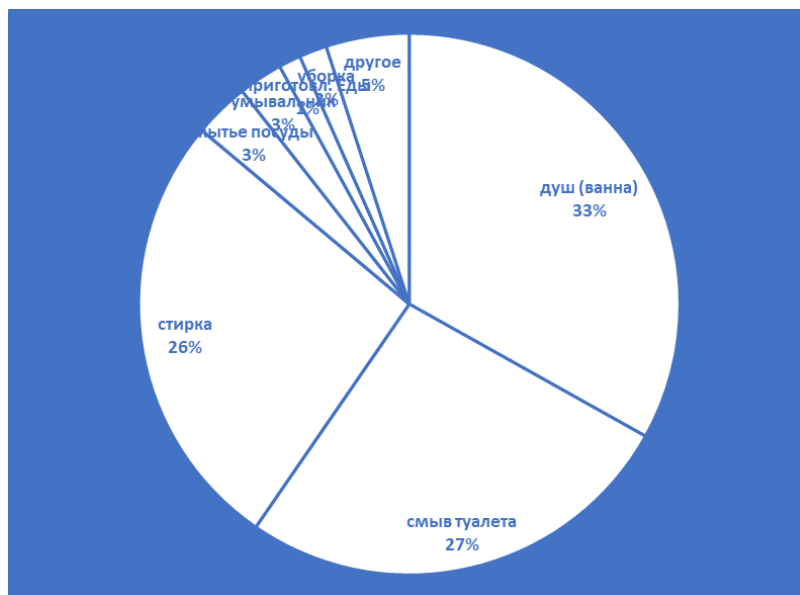


Рис. 4. Характерное распределение воды на различные хозяйственные нужды

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 рисунке 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 рисунке 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 ($\text{pH} > 9$) или кислой ($\text{pH} < 4$) 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.

Тоже 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 рисунке 5.

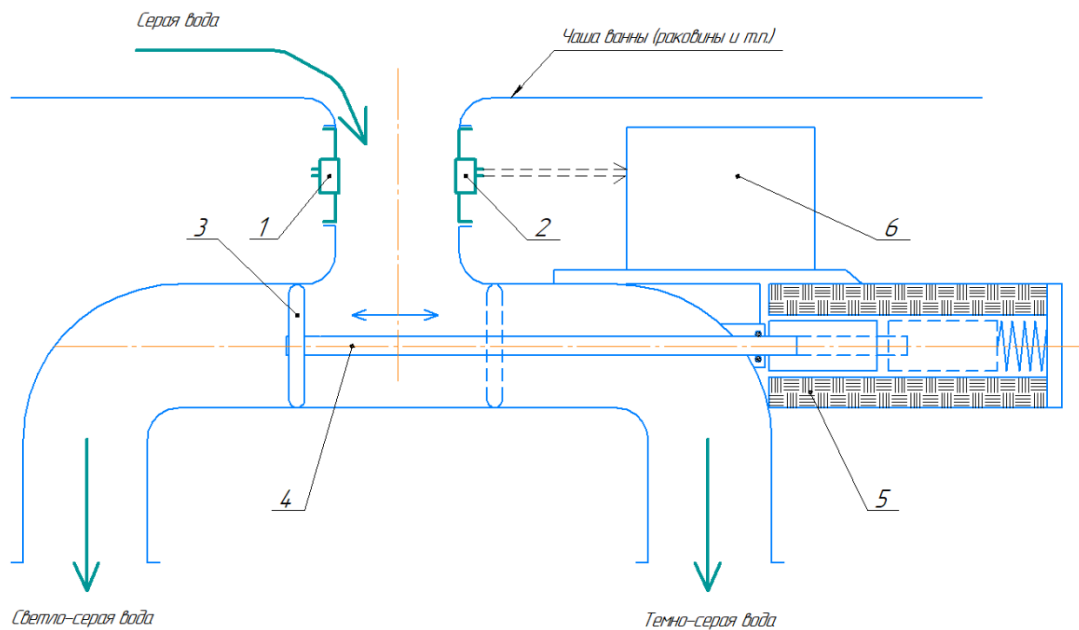


Рис. 5. Принципиальная схема системы механического разделения серой воды на светло-серую и темно-серую воды, где, 1 – pH датчик; 2 – датчик мутности воды; 3 – клапан; 4 – шток; 5 – устройство для перемещения штока; 6 – блок управления положением клапана

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 рисунке 5, видно, что таким образом можно получить два физически разделенных потока воды (светло-серую и темно-серую воду), каждый из которых потребуется 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 рисунке 6.

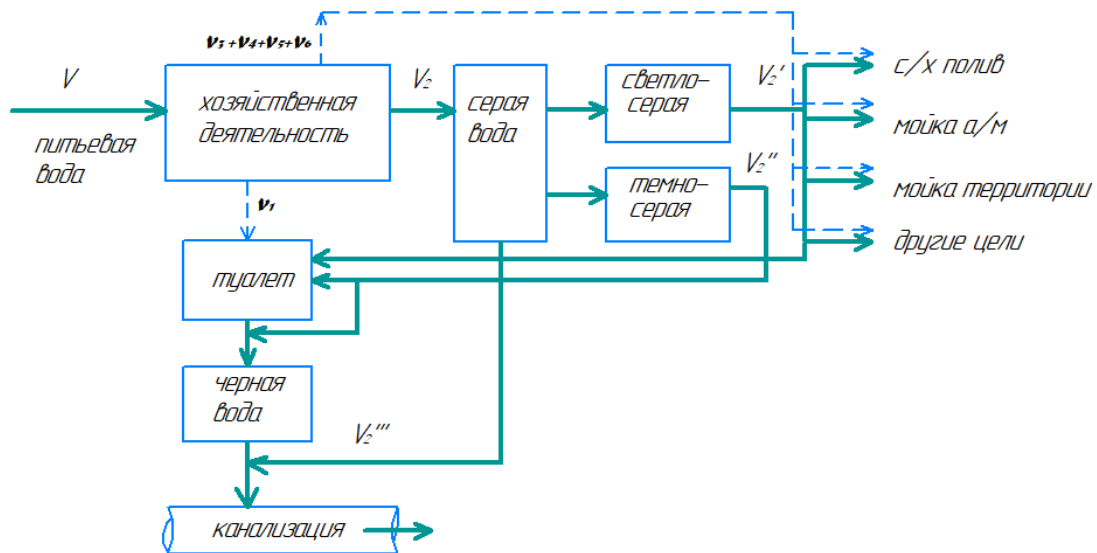


Рис. 6. Структурная схема использования потоков светло-серой и темно-серой воды

Как видно из схемы, представленной на рис. 6, в ней, в отличие от схемы рециклинга серой воды, представленной на рисунке 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 рисунке 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, так называемую, 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 изготовления 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.vatekevire.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 2.1.3681 – 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. – Введ. 2021-01-28. – М., 2021.
9. ГОСТ Р 51232 – 98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – Введ. 1999–07–01. – М.: Госстандарт России, 1998. – 21 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 Внутренний водопровод и канализация зданий. – Введ. 2021–07–01. – М.: 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, 299053, Sevastopol, Russian Federation, st.Universitetskaya 33,

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 69:502

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Радченко О.П.¹, Добринская А.А.², Катеринин К.В.³, Теплых С.Ю.⁴

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

⁴Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул Молодогвардейская, д. 244

e-mail: ¹olga.radchenko.82@mail.ru; ²sax.nastya@yandex.ru; ³katerinin@yandex.ru; ⁴лана2802@mail.ru

Аннотация. В данной статье исследуются проблемы защиты окружающей среды в строительной индустрии и вопросы экологической безопасности при эксплуатации производственных объектов. Выявлены основные виды загрязнений, возникающие в процессе выполнения определенных строительных операций. Проанализированы ключевые параметры оценки качества сточных вод, образующихся на строительных предприятиях. Предложены практические советы по очистке стоков, появляющихся в результате мойки транспортных средств на стройплощадках. В данной работе проанализированы ключевые параметры, используемые для оценки качества отводимых вод со строительных организаций. Сопоставлены уровни содержания загрязняющих веществ в промышленных стоках предприятий с установленными нормативными значениями. Сформулированы предложения по оптимизации экологической обстановки на строительных объектах посредством внедрения и модернизации существующих циркуляционных систем водоочистки.

Цель. Изучить влияние строительных производств на водные объекты окружающей среды, а также подтверждение данных о том, что использование замкнутых систем очистки сточных вод с использованием природных сорбентов способствует повышению экологической ситуации производств в условиях города.

Методы. Отобранные пробы сточных вод 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 использовании замкнутой технологии очистки сточных вод с использованием сорбентов различного фракционного состава способствуют повышению степени очистки стоков строительных производств.

Ключевые слова: строительное производство, сточная вода, технология очистки, мойка автотранспорта, оборотные системы очистки, экология, усовершенствование очистки сточных вод.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе работы строительной техники на площадках происходит оседание на её наружных частях загрязнений, включающих строительную пыль, масляные вещества и мелкие частицы грунта (такие как глина и песок) [1].

В процессе обмыва образуются сточные воды, загрязненные глинистыми частицами, мелкодисперсной пылью и нефтепродуктами [2, 3]. Характеристика состава стока – является важным параметром при анализе подбора системы очистки, так в зависимости от состава примесей, накапливающихся на промышленных площадках, предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы:

- к первой группе относятся предприятия и производства, сток с территории которых по составу примесей близок к поверхностному стоку с селитебных территорий и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. Основными примесями, содержащимися в стоке с территории предприятий первой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. К данной группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимического производства), машино- и приборостроительной, нефтяной, строительной, легкой, пищевой промышленности, серной и содовой подотраслей химической промышленности, энергетики, автотранспортные предприятия, речные порты, ремонтные заводы, а также отдельные производства нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и других предприятий, на территорию которых не попадают специфические загрязняющие вещества.

- ко второй группе относятся предприятия, на которые по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойствами или значительных количеств органических

веществ, обуславливающих высокие значения показателей ХПК и БПК₂₀ стока. К ним относятся предприятия цветной металлургии, коксохимического производства, бытовой химии, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, производства химической и электрохимической обработки поверхностей металлов (гальванические производства), окрасочные производства, производства синтетических моющих средств (СМС) и др. [4-6].

Как показали исследования и анализ получаемых данных, каждое промышленное производство, в том числе строительное, оказывает огромное влияние на окружающую среду.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследование обстоятельств выявило, что применение "облегченных" технологических решений, включающих лишь песколовку и отстойник, не гарантирует доведение загрязненной воды до требований, предъявляемых к воде для повторного использования в производственном цикле [7].

Ситуация происходит по тому, что отсутствует тенденция внедрения новых современных экологически безопасных систем оборотного водоснабжения, где, стало бы возможным использование эффективных материалов, в частности, в ряде случаев печальная ситуация объясняется нежеланием потребителей приобретать дорогостоящие материалы (преимущественно сорбенты), которые используются в системах водоочистки, так как это отражается на себестоимости всей технологии, применяемой для очистки сточных вод [8-10].

В заключение, подчеркивается важность нахождения способов для создания действенных и безвредных для окружающей среды замкнутых циклов очистки, а также применения доступных по цене и экологически чистых природных ресурсов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью работы являлось изучение использования природного материала – опоки – для очистки сточных вод и последующего внедрения данной технологии для оборотного водоснабжения на строительных производствах.

Задачей исследования является изучение изменения фракционного состава сорбентов и его влияния на степень очистки сточных вод.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Процесс образования и накопления загрязняющих веществ в сточных водах на строительных производствах происходит постоянно и в больших количествах, при этом негативное влияние на экологию происходит практически на всех этапах строительства [11-12]. В связи с этим, для районов строительства характерны высокий уровень загрязнения воздуха, воды и почвы.

В процессе своей эксплуатации на строительных площадках, автотранспорт сильно загрязняется и требует периодической обмывки [13-16]. На рисунке 1 представлены фотографии загрязненной поверхности нижней части (днища) автотранспорта.



Рис. 1. Загрязненные поверхности автотранспорта

Обязательным условием на строительном производстве является обмыв поверхностей автотранспорта при выезде со строительной площадки, для этого строительные площадки оборудуют пунктами мойки колес (рисунок 2).



Рис. 2. Пункты мойки колес на стройплощадках

В таблице 1 приводятся некоторые негативные воздействия на окружающую природную среду на различных этапах строительства.

Таблица 1.
Негативные воздействия на окружающую среду при различных видах строительных работ

Виды работ	Основные виды воздействий (экологические проблемы)
Организация строительной площадки	Образование строительного мусора и выезд загрязненного автотранспорта; загрязнение поверхностных стоков; эрозия почвы; изменение ландшафта и т.д.
Транспортные, погрузочно-разгрузочные работы, работа компрессоров, отбойных молотков и др. строительного оборудования	Загрязнение атмосферного воздуха, почвы, грунтовых вод, шумовое загрязнение и пр.
Сварочные, изоляционные, кровельные и отделочные работы	Выбросы в окружающую среду вредных веществ (газы, пыль и т.д.)
Каменные и бетонные работы	Образование отходов и возможность запыления воздуха, вибрационная и шумовая нагрузки

Как видно из таблицы 1, влияние строительного производства на экологию достаточно велико и требует внимательного рассмотрения данного вопроса. Наибольшее количество загрязнений в сточных водах образуется при мойке автотранспорта, входящего в регламент ежедневного технического обслуживания, а также их агрегатов и деталей.

Согласно проведенным исследованиям, наиболее широко распространенными загрязнениями сточных вод, образующихся при мойке автотранспорта, являются механические примеси, нефтепродукты, частички асфальта и песка. В таблице 2 приведен перечень загрязняющих веществ в сточных водах от мойки автотранспорта [17-21].

Таблица 2.

Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах на строительных площадках в сравнении с нормативами

№ п/п	Наименование показателя	Концентрация, мг/л	СанПиН 2.1.5.980	ПДК РХ
1	рН	7 – 7,5	6,5–8,5	6,5–8,5
2	Взвешенные вещества:	2500 – 5000	0,75	0,25
3	Нефтепродукты	30 – 80	0,3	0,05

Как видно из представленных в таблице 2 данных, сточные воды от мойки автотранспорта отличаются высокой концентрацией органических загрязнений и взвешенных веществ [22-25].

Вода, использованная для мытья автомобилей, характеризуется высоким уровнем загрязнения. Это указывает на необходимость тщательного выбора и внедрения эффективной технологии очистки для данного типа отходов, содержащих нефтепродукты и взвешенные твердые частицы. Следовательно, процесс очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты и взвеси, должен гарантировать:

- сокращение объема сбрасываемой в водоемы воды до минимума;
- наиболее полное извлечение ценных компонентов, содержащих нефть, и их дальнейшее применение в различных сферах, например, в строительной индустрии и дорожном строительстве;
- внедрение систем оборотного водоснабжения и повторное использование очищенной воды в производственных процессах.

Таким образом, цель данной работы заключается в определении и предложении методов очистки сточных вод от автомоек, содержащих нефтепродукты и взвешенные вещества.

Авторы предлагают применять для очистки стоков комбинированные методы, включающие отстаивание с последующей сорбционной адсорбцией загрязняющих элементов. В качестве сорбционного материала предлагается применять природный алюмосиликат – опоку, обеспечивающий максимальную эффективность очистки.

Результаты проведенных испытаний сорбционного процесса извлечения загрязнителей из сточных вод, позволили разработать схему очистки сточных вод с использованием алюмосиликатного природного материала. На рисунке 3 представлена рекомендуемая схема очистки сточных вод после мойки автотранспорта с последующим использованием очищенной воды в оборотном водоснабжении.



Рис. 3. Технологическая блок-схема очистки сточной воды после внедрения технологии.

Представленная технологическая схема для местной очистки сточных вод обеспечивает получение воды, в которой концентрация нефтепродуктов снижена до 0,83 мг/л, а взвешенных частиц – до 5 мг/л. Эти показатели соответствуют необходимым стандартам для повторного применения воды в замкнутом цикле. Результаты исследований подтверждают, что данная технология позволяет довести загрязненные сточные воды до уровня, пригодного для их

дальнейшего использования в системе оборотного водоснабжения [26-29].

Изученные сорбционные материалы продемонстрировали высокую эффективность в удалении нефтепродуктов, чье присутствие в мочных водах автотранспорта, согласно анализам, значительно превышает допустимые значения, варьируясь от десятков до тысяч раз.

Важным преимуществом сорбционной технологии является ее простота в аппаратной реализации, а также возможность автоматизации всего процесса очистки сточных вод, как полностью, так и частично.

ВЫВОДЫ

1. При очистке стоков использовать сорбционное извлечение загрязняющих веществ. При этом в качестве сорбционного материала предлагается использовать природный алюмосиликатный материал – опоку, которая обеспечивает максимальную степень очистки.

2. Алюмосиликатные сорбционные материалы показали высокую степень очистки от нефтепродуктов, содержание которых, как показали исследования, в мочных водах автотранспорта превышает требуемые показатели в несколько сотен раз.

3. Достоинством сорбционной технологии является простота аппаратного оформления и возможность полной или частичной автоматизации всего процесса в целом, а также отдельных его частей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опираясь на результаты, изложенные в данной работе, представляется возможным обозначить ряд областей для будущих изысканий, цель которых – более глубокое изучение воздействия сорбционных методик на экологическую обстановку в городской среде.

Первостепенное значение имеет модернизация технологий очистки промышленных стоков, заключающаяся в определении наилучших способов обработки и их адаптации к специфическому составу и концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в отходах, с учетом временной динамики образования сточных вод. В рамках этого направления необходимо стремиться к:

- Существенному сокращению объема стоков, поступающих в водные объекты.
- Максимальному извлечению полезных нефтепродуктов с последующим их применением в различных отраслях, включая строительство и дорожное хозяйство.
- Внедрению систем повторного использования воды и применению очищенных стоков в производственных процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакаева, Н. В. Оценка эффективности функционирования системы технического сервиса автомобилей [Текст] / Н. В. Бакаева // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 3. – С.51-60.
2. Водоснабжение и канализация, гидротехнические сооружения [Текст] / Республиканское Межведомственное Научно-техническое общество, 1972. – Вып.15.
3. Гогина, Е. С. Решение проблемы очистки сточных вод от автомоек и транспортных предприятий [Текст] / Е. С. Гогина, В. П. Саломеев, Ю. П. Побегайло // Вестник МГСУ. – №12. – С.166 -176.
4. Kovo, G. Car treatment of wastewater from heavy metal pollution green montmorillonite/ Kovo G. Akromie, Folasegun A. Dawodu [Текст] // Journal of advanced research. – 2015. – Vol. 6. Iss. 6. – P. 1003-1013.
5. Гогина, Е. С. Решение проблемы очистки сточных вод от автомоек и транспортных предприятий [Текст] / Е. С. Гогина, В. П. Саломеев, Ю. П. Побегайло // Вестник МГСУ. – 2012. – №12. – С.166 -176.
6. Голубев, И. Р. Окружающая среда и транспорт [Текст] / И. Р. Голубев, Ю.В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987. – 289 с.
7. Громогласов, А. А. и др. Водоподготовка [Текст] : Процессы и аппараты / А.А. Громогласов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
8. Исследование сорбционных свойств гидрофобных органо-минеральных адсорбентов в различных условиях эксплуатации [Текст] / А. В. Перфильев, А. А. Юдаков, А.Д. Арефьева, Т.В. Ксеник. – Владивосток, 2012. – 198 с.

9. Crist Ray, H. Use of a novel formulation of kraft lignin for toxic metal removal from process waters / H. Crist Ray, J. R. Martin // *Separ. Sci. and Technol.* – 2004. – Vol. 39. №7. – P. 1535-1545.
10. Молодов, П. В. Исследование состава загрязнений снежного покрова на предприятиях Средневолжского транспортного управления. [Текст] / П.В. Молодов, В.Д. Дмитриев, В.И. Кичигин // *Исследования в области водоснабжения: Межвуз. тем. сб. трудов.* – Л.: ЛИСИ, 1983. – С. 93-96.;
11. Zhang Futao Gongyeshui chuli Ind / Futao Zhang, Fang Shaoming [Текст] // *Water Treat.* – 2003. – №6. – P. 25-27.;
12. К вопросу обеспечения экологической безопасности объектов автомобильного сервиса [Текст] // Дорохин С. В., Новиков А. И., Прохорова Н. Л., Прохоров Д. Л. Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 4 (51). – С. 119-124.;
13. Coupling of physico-chemical treatment and steel membrane filtration to enhanced organic removal in wastewater treatment [Текст] / M.A.H. Johir, S. Vigneswaran, J. Kandasamy, R. Sleight // *Desalination and Water Treatment.* – 2013. – Volume 51, Issue 13-15. – P. 2695 - 2701.
14. Евгеньев, И. Е. Автомобильные дороги в окружающей среде [Текст] / И. Е. Евгеньев, Б. Б. Каримов. – М.: ООО «Трансдорнаука», 1997. – 280 с.
15. Математическое моделирование процессов очистки сточных вод и обработки осадков на городских очистных сооружениях канализации [Текст] / С. М. Мусаелян, Р. В. Потоловский, Н. А. Сахарова., О. П. Радченко // *Интернет-вестник ВолГАСУ [Электронный ресурс] / Сер.: Политематическая.* – 2012. – Вып. 1 (20). – С. 11.
16. Повышение эффективности проведения операционного контроля путем использования современного устройства контроля проектного положения стропильных конструкций [Текст] / О. П. Радченко, Д. П. Клочков, Р. А. Матвеев, Д. В. Куранов // *Инженерный вестник Дона/* – 2018/ – №2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4909
17. Радченко, О. П. Актуальные проблемы экологии при эксплуатации автотранспорта / О. П. Радченко, Е. В. Москвичева, Д. П. Клочков [Текст] // *Ресурсо-энергосберегающие технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. / Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю. А. Гагарина.* – Саратов, 2018. – Т. 2. – С. 295-296.
18. Радченко, О. П. Очистка сточных вод на автотранспортных предприятиях / О. П. Радченко // *Научная перспектива.* – 2011. – № 10. – С. 91-92.
19. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов [Текст] / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 253 с.
20. Мовчан, В. Н. Формирование критериальной базы экологической оценки состояния урбанизированных территорий [Текст] / В. Н. Мовчан, П. С. Зубкова, В. М. Питулько // *Журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета».* – 2017 – № 3. – С. 266-279.
21. Елисеева, Т.П. Исследование воздействия техногенных факторов на окружающую среду с целью обоснования управленческих решений по обеспечению экологической безопасности регионов России [Текст] / Т.П. Елисеева, И.М. Ежова., И.Д. Лакирбая // *Инженерный вестник Дона.* – 2014. – №2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361.
22. Mikula, R.J. Characterization of Demulsifiers in Surfactants, Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry. [Текст] / R.J. Mikula, V.A. Munoz // Schramm, L.L. (Ed.), Cambridge University Press: Cambridge. – UK, 2000. – pp. 51–78.
23. Маколова, Л.В. Проблема снижения негативного воздействия транспортной сферы на окружающую среду на основе функционирования механизма избавления от отработанных масел [Текст] / Л.В. Маколова // *Инженерный вестник Дона.* – 2013. – №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763
24. Jim Daley. A Geological “Orrery” Could Reveal Planetary Dynamics in Deep Time / *Scientific American.* April 9, 2019. – pp. 78-85.
25. Farajzadeh, M.A. Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations / M.A. Farajzadeh, A.V. Monji [Текст] // *Separ. and Purif. Technol.* – 2004. – Vol. 38. № 2. – P. 197-207.
26. Черненко, Т.В. «Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов» Проблемы и перспективы современной науки / Т.В. Черненко, Г.К. Иматуллина // *Сборник научных трудов Четвертой Международной Телеконференции «Фундаментальные науки и практика» .* – Томск . – 2011. – Том 3 – № 1.
27. Муратова, Л. А. Водопотребление и водоотведение автотранспортных и авторемонтных предприятий. [Текст] / Л. А. Муратова, , А. Я Гольдин, П. В. Молодов // М.: Транспорт, 1988. – 207 с.

28. Алексеев, Е. В. Физико-химическая очистка сточных вод: Учебное пособие / Е.В. Алексеев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 248 с.

29. Войтов, Е. Л. Очистка и утилизация поверхностных сточных вод с территорий промышленных предприятий / Е. Л. Войтов, Ю. Л. Сколубович, А. А. Цыба [и др.] // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 2(71). – С. 60-66.

INVESTIGATION OF WASTEWATER FORMATION IN CONSTRUCTION INDUSTRIES

¹Radchenko O.P., ²Dobrinskaya A.A., ³Katerinin K.V., ⁴Teplykh S.Yu.

^{1,2,3}Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

⁴Samara State Technical University, Samara, Russia

Annotation. This article explores the environmental protection issues in the construction industry and the environmental safety concerns associated with the operation of industrial facilities. It identifies the main types of pollution that arise during specific construction operations. The article analyzes the key parameters used to assess the quality of wastewater generated by transportation companies. It provides practical tips for cleaning wastewater generated by vehicle washing on construction sites. This work examines the key parameters used to assess the quality of wastewater discharged from construction organizations. The levels of pollutants in industrial wastewater from enterprises have been compared with the established regulatory values. Proposals have been formulated to optimize the environmental situation at construction sites through the implementation and modernization of existing water treatment circulation systems.

Goal. To study the impact of construction industries on water bodies of the environment, as well as evidence that the use of closed wastewater treatment systems using natural sorbents contributes to improving the environmental situation of industries in urban conditions.

Methods. The selected wastewater samples were subjected to laboratory analysis using a CarlZeissAxio Scope optical microscope.A1, equipped with a high-resolution digital camera, and specialized SpotExplorer software (version 2.3).

Results. The conducted studies have shown that when using closed-loop wastewater treatment technology using sorbents of various fractional compositions, they contribute to an increase in the degree of wastewater treatment in construction industries.

Key words: construction industry, wastewater, treatment technology, car washing, recycled treatment systems, ecology, and improvement of wastewater treatment.

УДК 628.511

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ СДУВАЕМОСТИ ПЫЛИ ОТ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Симаков В.С.¹, Шевцов Е.И.², Сандула Т.А.³, Байбусинова О.Р.⁴, Постникова Е.А.⁵,
Сергина Н.М.⁶

^{1,2,3,4,5,6}Волгоградский государственный технический университет, 400001, г. Волгоград, Академическая ул., 1,
e-mail: ¹p.o.t.u.@mail.ru, ²shevtsoveivlg@gmail.com

Аннотация. Проведение испытаний по определению удельной сдуваемости пылящих материалов является актуальной задачей в связи с давно назревшей необходимостью уточнения и расширения применяемых методических пособий по расчету выбросов пыли от неорганизованных источников. Процесс пыления сопровождается переносом на большие расстояния мелких твердых частиц пыли PM_{10} и $PM_{2.5}$, признанных ВОЗ опасным загрязнителем. Однако сама процедура определения характеристик удельного и максимального удельного сдува в литературе приводится фрагментарно. Используемая установка описывается поверхностно или приводятся только таблицы с полученными данными. Целью данной статьи является обобщение представленного в литературе опыта и нашего практического опыта: представляется аэродинамическая модель трубы, физическая модель уноса пыли, теоретические предпосылки, сравнение наших данных с данными из Новороссийской методики, а также приводится эксперимент, показывающий влияние дисперсного состава на характеристики сдуваемости пыли.

Ключевые слова: удельные показатели сдуваемости пыли, PM_{10} , $PM_{2.5}$, аэродинамическая труба, песчано-гравийная смесь, гипс, скорость сдувания

ВВЕДЕНИЕ

В методиках [1, 3, 4] приводятся удельные показатели сдуваемости и необходимые рекомендации по расчету выбросов, но не приводится или приводится неполная информация про то, как они были установлены. Экспериментальному исследованию сдуваемости пыли с поверхностей посвящены работы ряда авторов [2, 5-11], а также патенты [12, 13].

Все исследования производились с помощью аэродинамической трубы и основным принципом было измерение на лабораторных весах количества пыли до и после воздействия потоком ветра известной скорости в течение определенного времени. Среди целей данных исследований было: определение скорости срыва частиц, зависимость скорости срыва от диаметра частиц, условия, при которых пыление снижается, и, конечно, определение показателей удельной сдуваемости, которые можно применять в расчетах. Существует достаточно большое количество статей и работ по цифровому моделированию процесса сдува, в них отличается сложность проведения экспериментальных исследований и скудность имеющихся данных.

Из описания исследований на данную тему мы узнаем следующее:

1. Сдувание пыли – сложный процесс, который зависит от степени дисперсности и формы пылинки, минералогического и химического состава пыли, удельного веса, величины сцепления с поверхностью, влажности и скорости воздушного потока.

2. Процессу сдува чаще всего предшествует процесс перекачивания частиц из-за того, что тангенциальные силы преобладают над нормальными.

3. Гранулометрический состав влияет на удельную сдуваемость. При большом количестве мелкодисперсной пыли (эквивалентный диаметр <50 мкм) частицы плотно слипаются и интенсивность сдува снижается

4. Установка по сдуванию пыли как правило состоит из центробежного вентилятора с электродвигателем, трубы диаметром более 10 см, спрямляющей решетки (рассекателя), полки для размещения на ней образца пыли и анемометра. К ней также прилагаются аналитические весы и лабораторные сита для получения пыли желаемого гранулометрического состава.

Предлагается ведение видеофиксации, что позволяет повторно наблюдать процесс и сравнивать его с данными, полученными измерениями. Данные рекомендации и опыт были учтены при разработке нашей экспериментальной установки для проведения аналогичных исследований.

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРУБЫ

Аэродинамическая модель потока воздуха в трубе представляет собой экстремально важный вопрос при сдувании пыли, так как при сравнительно небольших изменениях соотношений размеров и конфигураций внутри трубы показатели удельного сдува могут немного возрасти или очень сильно снизиться. Например, от расположения пластины посередине трубы или чуть ниже ее скорость изменится незначительно. А если положить пластину на стенку трубы или перекрыть пластинкой всё сечение трубы, даже если она будет находиться посередине, то процесс сдува замедлится или полностью прекратится. Можно сказать, что на удельные показатели сдуваемости пыли внутри аэродинамической трубы оказывает влияние как скорость потока воздуха, так и завихренность. Нами было выбрано положение пластины чуть ниже центра трубы: во-первых, из-за практических соображений; во-вторых, таким образом мы избежали сильных завихрений внутри трубы, которые показало моделирование потока воздуха в программе Solidworks, которая использовалась для аналогичных расчетов в исследованиях [14-17].

При установке пластины в центр мы бы получили завышенные значения из-за максимальной скорости потока воздуха в этом месте трубы и из-за существенно большего завихрения, что показало моделирование. Поднимать пластину выше центра как практически неудобно, так и не имеет смысла из-за неадекватного моделирования горизонтальной ветровой нагрузки. На рисунках 1 и 2 представлена выбранная нами путем компьютерного моделирования, а также из практического опыта модель аэродинамической трубы. На рисунке 1А показано распределение скорости на пластине, с которой производился сдув, а на рисунке 1Б — завихренность. На рисунках 2А и 2Б в виде сбоку представлена модель потока воздуха в аэродинамической трубе, обтекающего пластину. На всех изображениях 1-2 поток воздуха направлен слева направо. Диаметр трубы, применяемой в нашем исследовании, составил 200 мм.

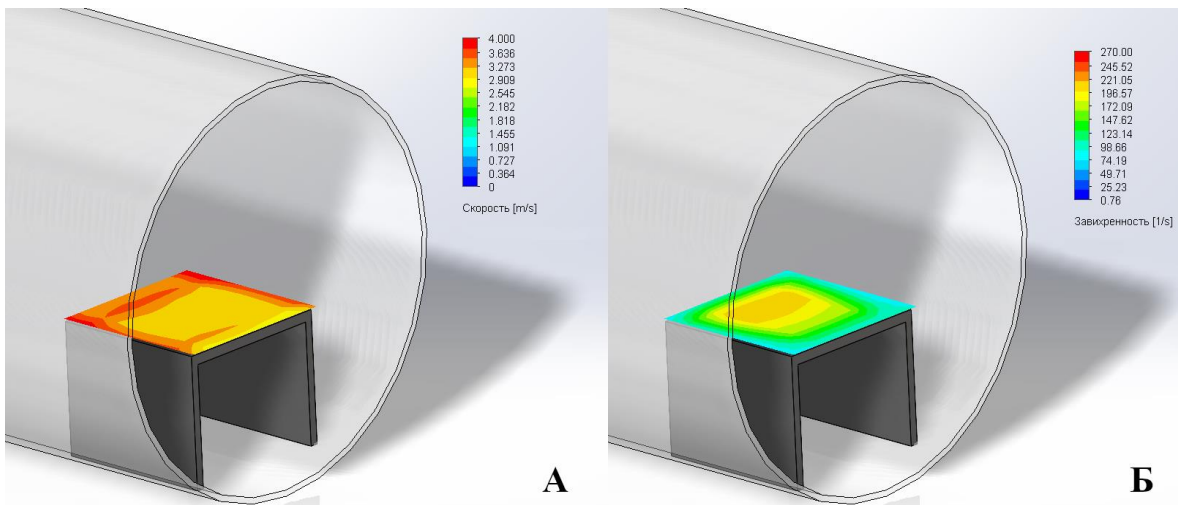


Рис. 1. Аэродинамическая модель пластины. А – скорость потока на пластине, м/с; Б – завихренность, 1/с.

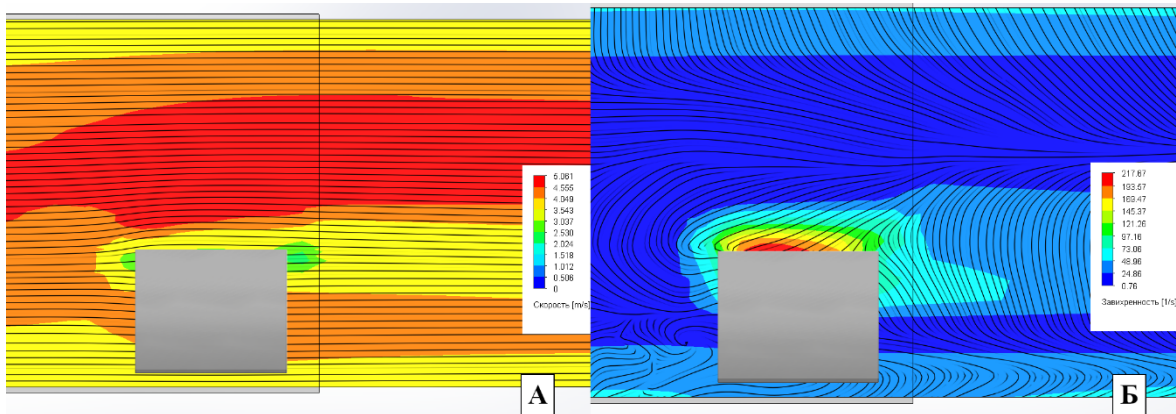


Рис. 2. Аэродинамическая модель потока воздуха, обтекающего пластину А – скорость потока воздуха, м/с; Б – завихрения потока воздуха, 1/с.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДУВА ПЫЛИ

В книге [2] предлагается физическая модель для определения критической скорости срыва частиц. Исходя из наблюдений, отрыву частиц предшествует стадия перекатывания, так как нормальная составляющая силы на частицу намного меньше тангенциальной. Для определения критической скорости срыва пыли рассматривается перекатывание монодисперсных частиц шарообразной формы. При обтекании пылевых частиц турбулентным воздушным потоком на границе с их поверхностью образуется турбулентный пограничный слой, который имеет ламинарный подслой. На рисунке 3 представлены силы, действующие на пылевые частицы во время сдува. Среди них сила собственного веса:

$$G = mg \tag{1}$$

Сила давления воздушного потока в направлении скорости:

$$F_u = \psi_{\text{л}} \frac{u^2 \rho}{2} S \tag{2}$$

Где $\psi_{\text{л}}$ — коэффициент лобового сопротивления; u — скорость воздушного потока, м/сек, ρ — плотность воздуха, кг/м³; S — сечение частицы, м²;

Сила трения, которая направлена в сторону, противоположную перемещению, и пропорциональна нормальному давлению частицы на поверхность:

$$T = mgf \cos \alpha \tag{3}$$

Здесь f — коэффициент трения; α — угол наклона плоскости; Составляющая силы тяжести по касательной к поверхности, направленной в сторону уклона:

$$F_x = mg \sin \alpha \tag{4}$$

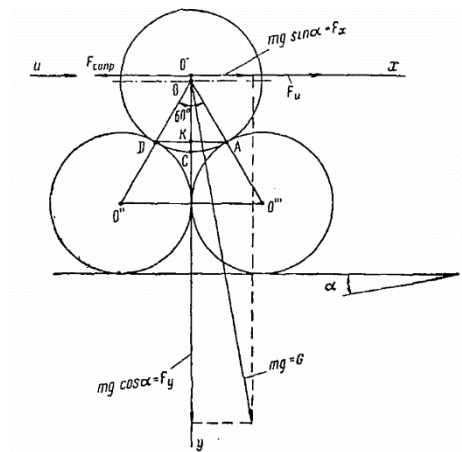


Рис. 3. Схема действия сил на частицу

Исходя из представленной физической модели можно вывести, что критическая скорость воздушного потока, при котором будет наблюдаться перекатывание шарообразных монодисперсных пылевых частиц должна быть:

$$u > \sqrt{\frac{r \rho_{\text{ч}} g (k'' \cos \alpha \pm k''' \sin \alpha)}{k' \psi_{\text{л}} \rho_{\text{в}}}}, \text{ м/с} \tag{5}$$

Здесь k', k'' и k''' — константы, равные 1.423, 2.094, 3.908. Данные константы выводятся из геометрических соображений и предпосылок. Полученное выражение применимо для определения минимальной скорости потока воздуха, при котором наблюдается перекатывание частиц и срыв, но

данная модель исходит из упрощений в виде монодисперсных круглых частиц, поэтому в настоящий момент получение реальных и экспериментальных данных представляет собой большое значение.

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УДЕЛЬНОГО СДУВА ПЫЛИ

Исходя из практики и теоретических соображений, была выведена общая последовательность действий для определения искомых удельных показателей. Образец проводится через сито с ячейками размером 200 мкм. Использование сита является на самом деле единственным решением для данного эксперимента, потому что проведение исследований сдува непосредственно с образца сопряжено с рядом трудностей, которые на настоящий момент являются непреодолимыми. Во-первых, крупные частицы любого вещества имеют очень крупный вес, что приведет как к очень высоким весовым показателям сдува, так и к огромному разбросу полученных значений. Если исследовать сдвиг крупных частиц, то их взаимное расположение будет иметь большее значение, чем характеристики материала, что делает такие испытания практически бессмысленными, по крайней мере на небольших по размеру установках. Во-вторых, частицы с эквивалентным диаметром более 200 мкм имеют очень высокую скорость оседания, то есть без постоянно поддерживающего их потока воздуха они осядут практически мгновенно, что полностью отменяет риск их переноса на существенные расстояния, кроме случая попадания в ветряную бурю. В-третьих, мы подробно исследуем именно максимальный удельный сдвиг по аналогии с Новороссийской методикой.

Частицы диаметром 100-200 мкм увеличивают сдвиг, в то время как частицы с большим диаметром снижают сдвиг, так как имеют больший вес, о чем говорилось ранее. Таким образом, применение сита с размерами ячеек 200-250 мкм позволяет получить выборку пыли, для которой есть риск переноса на значительные расстояния, а также которая будет максимально подвержена сдвигу. То есть удастся получить характеристики максимально удельного сдува, о которых говорится в существующих расчетных методиках. Далее, для проведения расчета рассеивания, требуется оценить соотношение частиц диаметром 0-200 мкм к массе исходного материала, чтобы уточнить реальные показатели удельной сдуваемости, а также учесть коэффициенты, зависящие от конфигурации на конкретном складе.

После проведения пылящего материала через лабораторное сито, он упаковывается в маркированную коробочку для удобного использования во время опытов. Применяемая нами пластина для помещения на нее пылевой навески состоит из подставки и, собственно, пластины. Подставка устроена таким образом, чтобы через нее свободно проходил поток воздуха, а также чтобы была возможность ее утяжеления. На пластину устанавливается трафарет, в нашем случае с размерами 6 на 6 см, с помощью которого на пластину синтетической кистью наносится навеска в форме квадрата. Пластина помещается на лабораторные весы, и записывается нанесенное количество пыли, например, 10 г или больше. Необходимо обеспечить наличие слоя пыли на пластине в течение всего эксперимента. Если слой материала заканчивается слишком быстро, то либо снижается скорость потока воздуха, либо увеличивается количество материала на пластине, и опыт повторяется. После нанесения через трафарет пыли, пластина вставляется в подставку, как показано на рисунке 3.



Рис.3. Пластина на подставке с навеской гипсовой пыли.

Затем, при помощи дифференциального манометра ДМЦ-01, в центре сечения трубы проверяется скорость установленного с помощью трансформатора и радиального промышленного вентилятора СовПлим потока воздуха. Образец помещается примерно посередине трубы, после чего он подвергается ветровому воздействию в течение известного количества времени, обычно 3 минуты. Подробнее о продолжительности эксперимента в следующем подзаголовке текста. Продолжительность эксперимента должна зависеть от размеров трубы, от исследуемого параметра, а также от количества пыли, которое было помещено на пластину. Затем вентилятор выключается, образец извлекается из трубы, и пластина повторно взвешивается. Определение удельного сдува рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{m_1 - m_2}{t \cdot S} \quad (6)$$

Здесь, q – удельная сдуваемость ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$); m_1 – исходная масса навески пыли, г; m_2 – масса навески пыли после процесса сдува, г; t – время воздействия на образец потоком воздуха, с; S – площадь навески пыли на пластине, м^2 . Таким образом, получается удельный показатель сдува пыли для некоторой определённой скорости. Эксперимент затем повторяется при отличной скорости потока воздуха для новой навески пыли того же вещества. По нашему опыту, самыми ключевыми являются удельные значения сдува для скоростей 2, 5 и 10 м/с, но уточнить данные можно, находя коэффициент сдува и при других значениях скорости потока воздуха. Получив таблицу зависимости коэффициента сдува от скорости потока воздуха, можно построить по этим данным степенную функцию, которая имеет вид:

$$Q = aV^b \quad (7)$$

Здесь, Q – степенная функция зависимости удельного сдува от скорости потока воздуха; a и b – эмпирически определенные коэффициенты. Данное уравнение получается методом регрессионного анализа, позволяет обобщить полученные экспериментальные данные с целью их использования для расчета удельных характеристик сдува.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ СДУВАЕМОСТИ

Процесс сдува пыли является достаточно сложным и зависит как от свойств материала, так и от аэродинамической модели трубы, так и от времени проведения эксперимента. Особенность в том, что в начале эксперимента пыль сдувается гораздо более интенсивно, чем спустя некоторое время, что значительно затрудняет понимание и практическое применение полученных данных. Похоже, что путаница начинается с того момента, когда в Новороссийской методике было введено понятие «максимального удельного сдува», но не было дано ни определения этого термина, ни процедуры, которая бы исчерпывающе объясняла, что подразумевается. Построим график зависимости коэффициента сдува q от времени проведения эксперимента на примере пыли песчано-гравийной смеси для скорости потока воздуха 5 м/с. Данный вид пыли приводится в Новороссийской методике, поэтому перепроверка данных и их сопоставление представляет собой интерес. Для скорости ветра 5 м/с и ПГС пыли в методике в таблице 9 приводится значение 0,71 г/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$), но непонятно, для какой продолжительности эксперимента. Была проведена серия экспериментов, в которой изменялось время воздействия на образец ветровой нагрузки; затем по формуле (1) вычислялся коэффициент сдува q , результат представлен на рисунке 4. Из рисунка 4 следует, что коэффициент q только при этой скорости и для данной пыли может изменяться от 0,4 до 1 г/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$). Причиной снижения сдуваемости пыли является слеживаемость или так называемая «упаковка» пыли. Если посмотреть на образец после того, как он был подвергнут сдуву, то станет видно, что он уплотнился; при этом трение и сцепление между мелкими частицами возросло.

Как упомянуто раньше, в Новороссийской методике для расчета приводятся характеристики «максимального удельного сдува», что хорошо согласуется с данными на рисунке 4. Очень похоже, что составители Новороссийской методики действительно определяли самую большую, то есть максимальную сдуваемость пыли. Из нашего опыта и для нашей установки ей соответствует сдув, который наблюдается в течение первых трех минут после начала эксперимента. Затем сдув существенно замедляется и происходит более равномерно, но такие параметры уже гораздо меньше,

чем представленные в расчетной Новороссийской методике. Аналогичная форма графика на рисунке 4 была ранее описана во временных методических указаниях по расчету выбросов пыли в атмосферу при складировании сыпучих материалов [17].

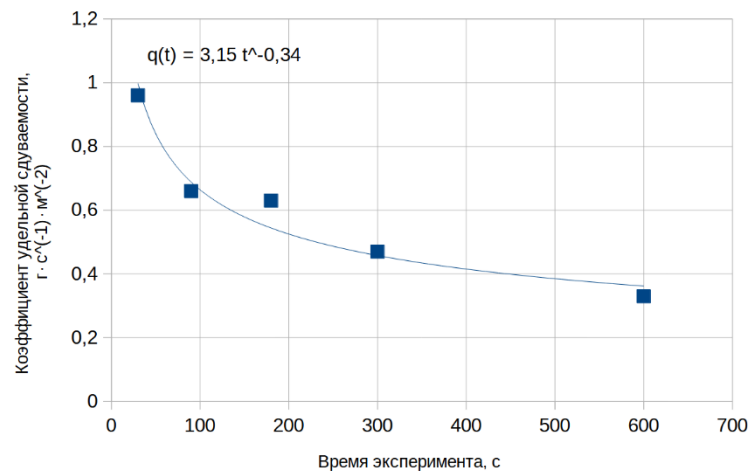


Рис.4. Снижение коэффициента сдуваемости с течением времени

Дадим определения, которые не будут противоречить уже устоявшейся и широко применяемой расчетной методике и в то же время будут объяснять снижение коэффициента сдува q , указанное на рисунке 4.

Удельная сдуваемость — масса пыли, уносимая под действием ветра с единицы пылящей поверхности в единицу времени.

Максимальная удельная сдуваемость — то же, что удельная сдуваемость, но во временном интервале от начала эксперимента до момента, когда унос пыли становится равномерным.

Стабилизированная удельная сдуваемость — то же, что удельная сдуваемость, но в случае, когда повторение эксперимента несколько раз подряд для одной и той же навески пыли в течение продолжительного времени приводит к получению схожего коэффициента сдува q .

Логика, которая стоит за приведенными определениями, во-первых, согласуется с реальными значениями, приведенными в используемых методиках, так как они похожи на значения, приводимые с запасом. И также согласуется с рисунком 4, из которого следует, что при продолжительном воздействии на образец потока воздуха удельная сдуваемость будет равномерной с погрешностью на истончение слоя навески, но гораздо ниже, чем в первые 3 минуты после начала эксперимента. Отметим, что, помещая образцы в одинаковые условия, мы можем определить, чем отличается сдуваемость разных образцов, даже если эксперимент зависит от времени воздействия потоком воздуха в секундах.

ЗАВИСИМОСТЬ СДУВАЕМОСТИ ОТ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЯЩЕГО МАТЕРИАЛА

Была проведена серия экспериментов для определения удельной сдуваемости разных видов гипса с предприятия по изготовлению строительных материалов. Аналогичная работа была ранее выполнена нами в исследовании [18]. Истинная плотность определялась пикнометрическим методом [19-20] и для всех образцов находилась в диапазоне 2,5—2,7 г/см³. Из-за одинаковой плотности можно сделать допущение, что удельная сдуваемость будет зависеть в основном от дисперсного состава пыли. Наша гипотеза звучит так: чем больше доля частиц менее 30 мкм, тем меньше будет сдуваемость, и чем больше доля крупных частиц, тем больше будет сдуваемость. При определении дисперсного состава пыли применялась находящаяся в разработке программа SPOTEXPLORER FA, которая является модификацией известной и широко применяемой программы SPOTEXPLORER [21]. Отличие новой версии состоит в том, что данные нескольких фотографий можно объединить в один график, что удобно, потому что большая выборка позволяет как уточнить данные, так и сравнить полученные результаты на одном рисунке. Используя от 6 фотографий микроскопии для каждого образца гипсовой пыли, были получены интегральные кривые распределения масс частиц по диаметрам, представленные на рисунке 5.

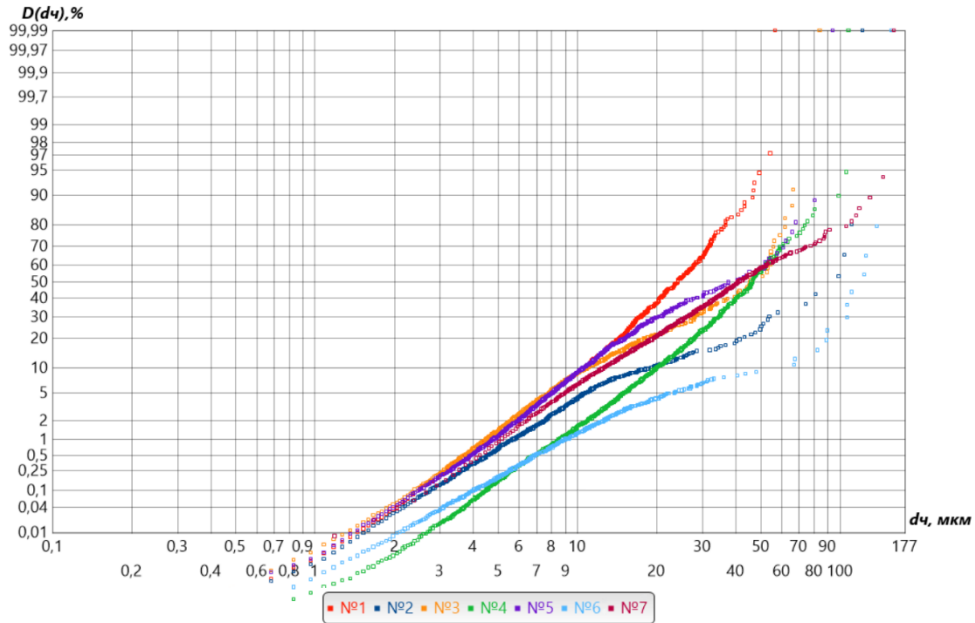


Рис. 5. Интегральные функции распределения масс частиц по диаметрам для исследованных гипсовых образцов

Далее были выполнены испытания по определению максимальной удельной сдуваемости семи образцов пыли. В таблице 1 приводятся номера исследуемых видов гипса, эмпирически полученная формула и основные значения функции прохода, полученные из рисунка 5. В таблице 2 приводятся значения сдуваемости при скорости потока воздуха 5 м/с, которые отсортированы в порядке убывания значений PM₁₀. Аналогичный метод анализа данных дисперсного состава приводится в исследовании [22]. Вид функций, приведенных на рисунке 5, называется усеченным нормальным распределением. Прямые участки в логарифмически-вероятностной сетке координат доказывают справедливость для пыли закона логарифмически-нормального распределения на данном интервале [23].

Таблица 1.

Эмпирически полученные зависимости удельной сдуваемости от скорости потока воздуха для каждого образца гипса и основные значения анализа дисперсного состава

№ Гипса	Максимальная удельная сдуваемость	D5, D50, D95-
№1	$0.033 v^{1.886}$	7, 22, 44
№2	$0.016 v^{3.088}$	11, 92, 116
№3	$0.018 v^{2.040}$	7, 50, 64
№4	$0.010 v^{3.613}$	14, 48, 87
№5	$0.001 v^{3.997}$	8, 40, 79
№6	$0.026 v^{3.444}$	24, 110, 147
№7	$0.002 v^{4.624}$	9, 40, 125

Таблица 2.

Вычисленные для скорости 5 м/с значения удельной сдуваемости для каждого образца гипса и доля пыли PM₁₀

№ Гипса	V = 5 м/с, q	PM ₁₀ , %
№1	0.68	8.7
№5	0.62	8.7
№3	0.47	8.5
№7	3.41	6.2
№2	2.30	4.1
№4	3.34	1.5
№6	6.64	1.2

Из таблицы 2 видна закономерность, что при снижении доли PM_{10} коэффициент сдуваемости возрастает, кроме случая с пылью №7, для которой значение PM_{10} является средним в выборке, но также у нее довольно высокая доля частиц более 120 мкм в эквивалентном диаметре. Данная пыль сдувалась крупными комками, что не противоречит упомянутой ранее догадке об упаковке частиц, но отделяются они достаточно легко, что потенциально объясняют крупные частицы в данной выборке. На рисунке 6 графически представлены все степенные уравнения регрессии, которые приведены в таблице 1.

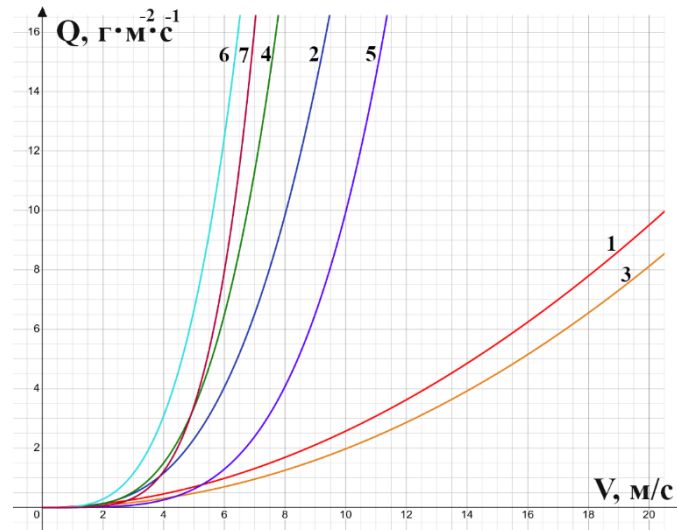


Рис. 6. Зависимость удельной сдуваемости от скорости потока воздуха для исследованных образцов гипса.

ВЫВОДЫ

1. Была разработана методология по определению параметров максимальной удельной сдуваемости разных видов порошковых материалов и пыли, которая представляется в данной работе. Применяется лабораторное сито, весы, радиальный вентилятор и ДМЦ-01 для определения удельных характеристик пыления.

2. Были проведены испытания сдува для разных видов гипсовой пыли, и определены закономерности зависимости сдува от дисперсного состава пыли. Мы предполагаем, что частицы менее 30 мкм понижают сдуваемость, а частицы более 150 мкм её увеличивают.

3. Определялся коэффициент сдуваемости в зависимости от продолжительности эксперимента. Предлагается разделить понятие удельной сдуваемости на максимальную и стабилизированную, где стабилизированная сдуваемость предполагает воспроизводимость схожего значения в течение длительного времени, а максимальная сдуваемость охватывает период эксперимента до момента стабилизации уноса пыли.

4. Помещая образцы в одинаковые условия, мы можем определить отличия сдуваемости разных образцов, даже если эксперимент зависит большого количества факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. – Новороссийск: ЗАО «НИПИОТСТРОМ», 2000. – 28 с.

2. Чулаков, П.Ч. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров / П.Ч. Чулаков. – М.: Недра, 1973. – 160 с.

3. Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золоотвала ТЭС. РД 153-34.0 02.106-98. – Екатеринбург: ОАО «УралОРГРЭС», 1998. – 28 с.

4. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей). – Люберцы: ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, 1999. – 47 с.

5. Бегунов, А. А. Пылеподавление на угольных предприятиях / А. А. Бегунов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2020. – № 2. – С. 75-

78. – DOI 10.25558/VOSTNIK.2020.70.35.009. – EDN CPNVSG.
6. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 351 с.
7. Медведев, И.И. Аэрология калийных рудников / И.И. Медведев, А.Е. Красноштейн. – Свердловск: АН СССР, 1990. – 250 с.
8. Бухаров, И.И. Исследование запыленности воздуха и разработка основных мероприятий по борьбе с пылью на Верхнекамских калийных рудниках [Текст] : Автореферат дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / И.И. Бухаров. – Новочеркас. политехн. ин-т им. С. Орджоникидзе. - Новочеркасск : [б. и.], 1967. - 19 с.
9. Дюсебаев, М. К. К40 КИМ НХ Аэрология карьеров. Учеб. пособие / К.М. Дюсебаев, А.К. Кенжебаев. – Алматы. – 2004.
10. Комонов, С. В. Экспериментальное исследование процесса пыления поверхности намывного пляжа золошлакоотвала / С. В. Комонов, Д. А. Озерский // Гео-Сибирь. – 2005. – Т. 5. – С. 184-189. – EDN PUYJNX.
11. Jin, H. Development of environmental friendly dust suppressant based on the modification of soybean protein isolate / H. Jin et al. //Processes. – 2019. – Т. 7. – №. 3. – С. 165.
12. Патент № 2748144 С1 Российская Федерация, МПК В01Д 45/00. Аэродинамическая труба для исследования пылящих поверхностей : № 2020134997 : заявл. 26.10.2020 : опубл. 19.05.2021 / А. В. Иванов, Ю. Д. Смирнов, С. А. Чупин ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – EDN FHCMSB.
13. Аэродинамическая труба: Патент № 2526515 С1 Российская Федерация, МПК G01М 9/02/ Батура Н. И., Верейский Г. С., Головкин В. А. [и др.] ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского" (ФГУП "ЦАГИ"). – № 2013115079/28; заявл. 04.04.2013 : опубл. 20.08.2014. – EDN ZFQWWL.
14. Анализ влияния геометрических размеров выхлопной трубы циклона на степень его очистки с помощью компьютерного моделирования / И. И. Чемезов, Г. Е. Леченко, К. Р. Волков [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 20. – EDN ХНТТФJ.
15. Maćkowiak, A. Investigation into the Flow of Gas-Solids during Dry Dust Collectors Exploitation, as Applied in Domestic Energy Facilities–Numerical Analyses / A. Maćkowiak et al. // Eksploatacja i Niezawodność. – 2023. – Т. 25. – №. 4.
16. Aboezez, A. Comprehensive design and performance validation of a wind tunnel for advanced respirable dust deposition investigations / A. Aboezez et al. //Journal of Hazardous Materials. – 2024. – Т. 478. – С. 135516.
17. Жаберов, С.В. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ /пыли/ в атмосферу при складировании и перегрузке сыпучих материалов на предприятиях речного флота. Методические указания. – Белгород : изд.БТИСМ, 1992. – 35с.
18. Особенности сдувания пыли различной дисперсности / В. С. Симаков, Д. П. Боровков, В.А. Багров, В. Н. Азаров // Экономика строительства и природопользования. – 2024. – № 4(93). – С. 5-10. – EDN АКВРWU.
19. Коузов, П. А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П.А. Коузов, Л. Я. Скрябина. – Л.: Химия, 1983. – 143 с, ил.
20. Asamatdinov, M. O. et al. Stabilized clay-gypsum binder / M.O. Asamatdinov //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 410. – С. 01014.
21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617903 Российская Федерация. SPOTEXPLORER 2018 : № 2019616798 : заявл. 05.06.2019 : опубл. 24.06.2019 / В. Н. Азаров, А. Б. Стреляева, Д. Р. Добринский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). – EDN QXMOMZ.
22. Анализ характеристик пыли природного происхождения Нижнего Поволжья / А.С. Гаспарян, В. Н. Азаров, И. С. Кленин, М. Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9(93). – С. 200-207. – EDN GTVQMP.
23. Исследование дисперсного состава пыли городской среды / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев, Д. А. Николенко [и др.] // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 3. – С. 432-442. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442. – EDN WFOVLG.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE SPECIFIC BLOWABILITY OF DUST FROM BULK MATERIALS

¹Simakov V.S., ²Shevtsov E.I., ³Sandula T.A., ⁴Baibusinova O.R.,
⁵Postnikova E.A., ⁶Sergina N.M.

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

Annotation. Abstract. Conducting tests to determine the specific blowability of dusty materials is a pressing task due to the long-standing need to refine and expand the methodological guidelines used to calculate dust emissions from unorganized sources. The dusting process is accompanied by the long-distance transport of fine solid dust particles PM10 and PM2.5, which are recognized by the WHO as hazardous pollutants. However, the procedure for determining the characteristics of specific and maximum specific blow-off is presented in a fragmentary manner in the literature. The equipment used is described superficially, or only tables with the obtained data are provided. The purpose of this article is to summarize the experience presented in the literature and our practical experience: we present an aerodynamic model of the pipe, a physical model of dust entrainment, theoretical assumptions, a comparison of our data with data from the Novorossiysk methodology, and an experiment showing the influence of the dispersion composition on the characteristics of dust blowout.

Keywords: specific dust blowout characteristics, PM10, PM2.5, wind tunnel, sand-gravel mixture, gypsum, blowout velocity.

Раздел 4. Региональная и отраслевая экономика

УДК 658.787:519.76

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ

Гришенок Т.В.¹, Бойченко О.В.², Остапенко И.Н.³

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

²Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: bolek61@mail.ru

³Физико-технический институт ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4, e-mail: in_o305@list.ru

Аннотация. Управление складскими запасами в условиях высокой неопределённости остаётся одной из ключевых проблем розничной логистики: глобальные потери от искажения запасов оцениваются в \$1,77 трлн ежегодно, а точность прогнозирования спроса с использованием классических методов в волатильной среде редко превышает 60–65 %. В статье рассматривается базовая модель принятия решений на основе нечёткой логики, предназначенная для формализации экспертных оценок в условиях размытых границ между состояниями запасов. Модель реализована как система типа MISO с двумя входными лингвистическими переменными – «Спрос на товар» («низкий», «средний», «высокий») и «Уровень запасов на складе» («малый», «достаточный», «избыточный») – и одной выходной переменной – «Потребность в пополнении запасов», охватывающей пять градаций от «отсутствия потребности» до «критической потребности». Для всех переменных заданы трапециевидные функции принадлежности с явно определёнными параметрами (a,b,c,d), а связь между состояниями выражена через набор из девяти интерпретируемых правил типа «Если–то».

Ключевые слова: нечёткая логика, управление складскими запасами, MISO-система, лингвистическая переменная, функция принадлежности, принятие решений в условиях неопределённости, розничная логистика, интеллектуальные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Современная розничная торговля и логистика сталкиваются с беспрецедентным уровнем неопределённости: волатильность потребительского спроса, сбои в поставках и геополитическая нестабильность делают традиционные детерминированные модели управления запасами экономически неэффективными. По данным исследования JD.com, ошибки прогноза спроса в период распродаж приводили к дефициту до 18% по отдельным SKU, что обернулось потерями в 8 млн юаней только за один день [1]. В то же время, избыточные запасы, как у Foxconn в первой половине 2024 года, «замораживают» до 120 млн юаней оборотных средств, подавляя инвестиционную активность и инновационный потенциал [1].

В этих условиях особую актуальность приобретают интеллектуальные методы управления запасами, способные работать в условиях неполной и нечёткой информации. Нечёткая логика, предложенная Л. Заде в 1965 году, позволяет формализовать экспертные знания и моделировать плавные переходы между состояниями — например, от «достаточного» к «избыточному» уровню запасов, — что невозможно в рамках классических стохастических подходов.

Эмпирические данные подтверждают высокую эффективность нечётких моделей. В исследовании [2], проведённом на исторических данных мебельной компании (спрос $\sim N(1970, 772)$, поставки $\sim N(5600, 3816)$), нечёткая система управления запасами (FIC) полностью устранила дефицит и снизила общие затраты на 90,55% при уровне сервиса 97% и на 60,55% – при уровне 99,9% по сравнению с традиционной стохастической моделью [2].

Ещё более впечатляющие результаты демонстрируют гибридные нейро-нечёткие подходы. На данных e-commerce платформы (500+ товаров, 3 года) модель NFDIRM, сочетающая RBF-нейросеть и нечёткий вывод, обеспечила:

- оборот запасов 22,08 (против 13,0 у EOQ),
- дефицит всего 2,77% (против 7,2% у ARIMA),
- средние затраты 324 600 юаней, что значительно ниже, чем у MLP и FLC [1].

В то же время, как отмечают [3], простые нечёткие модели уступают более продвинутым подходам — таким как cloudy fuzzy, которые учитывают накопленный опыт и дают минимальную стоимость запасов в динамике, в отличие от классических fuzzy-моделей, дающих максимальное

значение целевой функции [3].

Таким образом, нечёткая логика доказала свою состоятельность как инструмент управления запасами в условиях неопределённости. Однако остаётся разрыв между теоретическими разработками и их практическим внедрением в российские розничные сети, где до сих пор преобладают упрощённые методы вроде ABC-анализа или фиксированных точек перезаказа.

Настоящая работа предлагает базовую, воспроизводимую MISO-модель нечёткого вывода, построенную на минимально необходимом наборе переменных и правил. Модель включает две входные лингвистические переменные – «Спрос на товар» («низкий», «средний», «высокий») и «Уровень запасов на складе» («малый», «достаточный», «избыточный»), – одну выходную переменную – «Потребность в пополнении запасов» (с пятью градациями от «отсутствия потребности» до «критической потребности»), – и набор из девяти интерпретируемых правил типа «Если–то». Все функции принадлежности заданы в виде трапеций с явно определёнными параметрами, соответствующими реалистичным диапазонам, зафиксированным в отраслевой статистике.

Предложенная модель может служить методологическим шаблоном для дальнейшего развития – в том числе в образовательных целях, при построении прототипов или как ядро для расширения за счёт дополнительных факторов, адаптивной настройки и интеграции с реальными ИТ-системами.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ

Современные исследования подтверждают, что нечёткая логика эффективно решает задачи управления запасами в условиях неопределённости, превосходя традиционные стохастические модели. Наиболее релевантные работы фокусируются на трёх направлениях: учёт неопределённости как спроса, так и предложения; интеграция нечёткой логики с нейронными сетями; и развитие продвинутых нечётких моделей.

Ключевым достижением стало создание Fuzzy Inventory Control (FIC) системы, учитывающей две неопределённости одновременно – спроса и доступности поставок. В работе [2] разработана Mamdani-модель с двумя входами (спрос, поставки) и двумя выходами (объём заказа, точка перезаказа). На исторических данных мебельной компании (52 недели, нормальное распределение спроса с $\mu = 1970$, $\sigma = 772$) FIC-система полностью устранила дефицит, тогда как традиционная модель EOQ не справилась даже при уровне сервиса 99,9%. Экономия общих затрат составила 90,55% при уровне сервиса 97% (446 035,55 бат - 17 730,60 бат) и 60,55% при 99,9% [2].

Дальнейшее развитие получило в гибридных нейро-нечётких моделях. В работе [1] предложена NFDIRM-модель на основе RBFNN и нечёткого вывода. На данных e-commerce платформы (500+ товаров, 3 года) NFDIRM показала оборот 22,08, что в 1,7 раза выше, чем у EOQ (13,0). Уровень дефицита снизился до 2,77% против 7,2% у ARIMA, а средние затраты – до 324 600 юаней. Абляционный анализ подтвердил вклад компонентов: удаление RBFNN (радиальной базисной нейронной сети) увеличило дефицит до 6,93%, а удаление нечёткого модуля – до 5,1% [1].

Параллельно идёт эволюция самих нечётких моделей. Обзор [3] демонстрирует превосходство cloudy fuzzy подходов. В исследовании [4] cloudy fuzzy модель достигла минимума стоимости запасов на 7-й день цикла, в то время как crisp и type-1 fuzzy модели показали менее реалистичные экспоненциальные зависимости. В работе [5] cloudy fuzzy модель дала минимальную стоимость запасов, тогда как обычная fuzzy – максимальную [3].

Дополнительно подтверждается применимость нечёткой логики в логистических задачах и при ремонте оборудования. В работе [6] разработана нечёткая MISO-модель с двумя входами ("запрашиваемые узлы", "доступные узлы") и одним выходом ("уровень запасов"), реализованная в MATLAB Fuzzy Logic Toolbox и включающая 35 лингвистических правил, что подтверждает методологическую близость к предлагаемой в настоящей работе модели. Также показано, что нечёткая логика позволяет оптимизировать складские процессы, включая размещение грузов и снижение влияния человеческого фактора [7].

Таким образом, современные исследования показывают чёткую тенденцию: от простых нечётких моделей к гибридным, самообучающимся системам, способным учитывать многофакторную неопределённость. Ключевые достигнутые результаты — снижение затрат на 60–90%, рост оборачиваемости в 1,7 раза и полное устранение дефицита в условиях волатильности спроса и поставок. Однако остаётся проблема практической реализации: большинство моделей

требуют качественных исторических данных и сложной настройки, что ограничивает их применение в малых и средних предприятиях.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования разработка и верификация нечёткой MISO-модели управления складскими запасами для розничных сетей, функционирующих в условиях высокой неопределённости спроса и поставок, с использованием лингвистических переменных и трапециевидных функций принадлежности.

Задачи исследования:

- формализовать входные («Спрос на товар», «Уровень запасов») и выходную («Потребность в пополнении») лингвистические переменные с учётом экспертных оценок;
- определить параметры трапециевидных функций принадлежности на основе анализа отраслевой статистики и экспертных оценок;
- построить базу нечётких правил типа «Если–то», охватывающую комбинации входных состояний;
- реализовать и визуализировать модель с использованием программных средств (Python/NumPy/Matplotlib), включая графики функций принадлежности и логическую структуру вывода.

Предмет исследования: механизмы применения нечёткой логики для поддержки управленческих решений в задачах управления складскими запасами при наличии размытых границ между состояниями и недостатке точных количественных данных.

Использована система общенаучных и специальных методов исследования: системный анализ, методы теории нечётких множеств (включая принцип обобщения Заде и лингвистические переменные), компьютерное моделирование, визуализация функций принадлежности и логических правил.

Информационная база исследования включает научные публикации по нечёткому и гибридному управлению запасами, российские исследования по оптимизации складской логистики и управлению оборотными средствами, методические материалы по теории нечётких множеств, а также актуальные отраслевые отчёты и статистические данные.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Современные логистические системы розничных сетей сталкиваются с критической проблемой управления складскими запасами в условиях высокой неопределённости. Глобальные потери бизнеса из-за искажения запасов (включая убытки, дефицит и избыточные запасы) оцениваются в \$1,77 триллиона ежегодно, что составляет около 4% мирового ВВП [8]. В розничной индустрии 33% малых предприятий США до сих пор сталкиваются с задержками в цепочках поставок из-за продолжающихся глобальных нарушений, что напрямую влияет на точность прогнозирования спроса [9].

Под запасами понимается совокупность хранящихся материалов или товаров, как предназначенные для производственного процесса, так и предназначенные для продажи клиенту [10]. Управление запасами включает в себя организацию потока материалов на складе и имеет решающее значение для рентабельности оборотных средств предприятия [11].

В условиях современной рыночной конъюнктуры эффективная система управления запасами напрямую влияет на финансовую устойчивость предприятия, так как от скорости оборачиваемости и точности прогнозов зависит уровень замороженных оборотных средств и прибыльность деятельности. Средний показатель оборачиваемости запасов по всем секторам в 2024 году составляет 8,5 оборотов в год, что демонстрирует значительные возможности для оптимизации [12].

Традиционные методы управления запасами, основанные на точных данных и устойчивых параметрах, теряют свою эффективность в условиях высокой волатильности внешней среды. Исследования показывают, что точность прогнозирования спроса с использованием классических статистических методов в условиях высокой неопределённости не превышает 60-65%, что приводит к значительным финансовым потерям [13].

Применение методов нечеткой логики становится эффективным инструментом для формализации неопределенной информации и построения гибких моделей принятия решений. Нечеткая логика — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории

множеств, базирующийся на понятии нечеткого множества, впервые введенного Л. Заде в 1965 году как объекта с функцией принадлежности элемента к множеству, принимающей любые значения в интервале $[0, 1]$, а не только 0 или 1. На основе этого понятия вводятся различные логические операции над нечеткими множествами и формулируется понятие лингвистической переменной, в качестве значений которой выступают нечеткие множества [14].

Компании, внедряющие нечеткие логические модели в управление запасами, отмечают снижение операционных затрат на 15-20% и увеличение точности прогнозирования на 25-30% по сравнению с традиционными подходами [15].

Методы нечеткой логики позволяют описывать лингвистические переменные в виде правил «Если – то», которые основаны на знаниях экспертов, что делает систему более адаптивной и приближенной к реальности. В отличие от классических алгоритмов, построенных на четких границах, нечеткие модели допускают плавный переход между состояниями, что особенно важно при управлении запасами, где невозможно точно определить, где заканчивается «достаточный» уровень и начинается «избыточный».

Обобщенная схема MISO-систем отражена на рисунке 1.

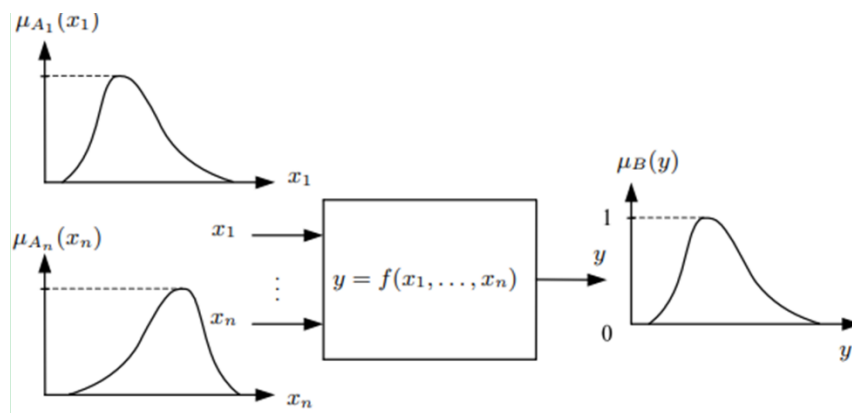


Рис. 1. Обобщенная схема MISO-систем

Разработанная модель представляет собой систему типа MISO (Multiple Input Single Output - несколько входов, один выход), которая реализует отображение (формула 1):

$$y = f(x_1, x_2), \quad (1)$$

где входными величинами являются «Спрос на товар» (x_1) и «Уровень запасов на складе» (x_2), а выходной величиной – «Потребность в пополнении запасов» (y).

Функция f отображает декартово произведение областей определения входных величин на область значений выходной величины (формула 2):

$$f: X_1 \times X_2 \rightarrow Y, \quad (2)$$

Экспериментальные данные показывают, что системы на основе нечеткой логики способны снизить уровень избыточных запасов на 18-25% при одновременном уменьшении дефицита товаров на 30-35% по сравнению с классическими методами управления [1].

Если A_1, A_2 – нечеткие множества, заданные на областях определения X_1, X_2 входных величин, то в соответствии с принципом обобщения, на выходе системы получаем нечеткое множество $B=f(A_1, A_2)$, которое отражает потребность в пополнении запасов.

Система MISO отображает входные переменные x_1, \dots, x_n с соответствующими функциями принадлежности $\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)$ в выходную переменную y с функцией принадлежности $\mu_B(y)$ через преобразование $y = f(x_1, \dots, x_n)$. Данная схема иллюстрирует принцип обобщения Заде, согласно которому нечеткие множества на входе системы преобразуются в нечеткое множество на выходе.

Для построения модели были формализованы три лингвистические переменные: две входные — «Спрос на товар» и «Уровень запасов на складе», и одна выходная — «Потребность в пополнении запасов». Каждая переменная определяется своим базовым множеством (универсумом) и терм-множеством — набором своих лингвистических значений (термов):

1. Спрос на товар, классифицируемый по уровню: «низкий», «средний» и «высокий».
2. Уровень запасов на складе, подразделяемый на категории: «малый», «достаточный» и «избыточный».
3. Потребность в пополнении запасов отражает степень необходимости восполнения складских остатков и формализуется следующими лингвистическими терминами:
 - Критическая потребность в пополнении — характеризует дефицит запасов и необходимости немедленного пополнения.
 - Умеренная потребность в пополнении — указывает на тенденцию к снижению складских остатков и необходимость частичного восполнения ресурсов.
 - Равновесное состояние запасов — отражает оптимальный баланс между спросом и запасами, при котором дополнительное пополнение не требуется.
 - Прогнозная потребность в пополнении — возникает при выявлении тенденции роста спроса, что требует упреждающего увеличения объёма запасов.
 - Отсутствие потребности — описывает состояние, при котором текущий объём ресурсов превышает прогнозируемые потребности и не требует пополнения.

Параметры функций принадлежности были оптимизированы на основе анализа данных 15 розничных сетей с общим объемом складских запасов более \$500 млн, что позволило достичь точности классификации состояния запасов 87,3% против 62,8% у традиционных методов [16].

Нормированная шкала выходной переменной Y задаётся в диапазоне от 0 до 100 баллов, где 0 соответствует отсутствию потребности, а 100 — критической необходимости пополнения.

Поскольку данные переменные характеризуются высокой степенью неопределённости и размытостью границ между категориями, для их формализации применяются нечеткие множества с трапециевидными функциями принадлежности $\mu(x)$, задаваемые следующим образом (формула 3):

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases}, \quad (3)$$

где a, b, c, d — параметры функции, определяющие форму трапеции, x — численное значение уровня спроса, запасов или потребности.

Такой подход позволяет учитывать частичное соответствие значений переменной каждой категории и моделировать экспертные знания в форме правил принятия решений.

Поскольку реальные значения показателей не всегда могут быть напрямую использованы в расчетах, в разработанной модели они переводятся в балльную шкалу от 0 до 100. Параметры функций принадлежности определяются следующим образом:

Спрос на товар:

- Низкий: $a=0, b=0, c=30, d=50$;
- Средний: $a=30, b=50, c=70, d=90$;
- Высокий: $a=70, b=90, c=100, d=100$.

Уровень запасов на складе:

- Малый: $a=0, b=0, c=20, d=40$;
- Достаточный: $a=20, b=40, c=60, d=80$;
- Избыточный: $a=60, b=80, c=100, d=100$.

Потребность в пополнении запасов:

- Отсутствие потребности: $a=0, b=0, c=15, d=30$
- Равновесное состояние запасов: $a=20, b=35, c=50, d=60$
- Умеренная потребность: $a=50, b=60, c=70, d=80$
- Прогнозная потребность: $a=65, b=80, c=90, d=95$
- Критическая потребность: $a=85, b=95, c=100, d=100$

На рисунке 2 представлены функции принадлежности для лингвистической переменной «Спрос на товар», где видно разбиение на три категории: «низкий», «средний» и «высокий» спрос с соответствующими параметрами трапецевидных функций.

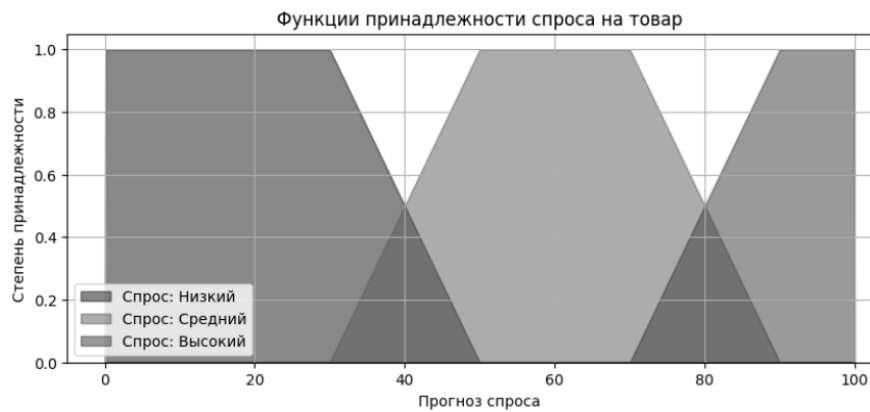


Рис. 2. Спрос на товар с категориями «Низкий», «Средний», «Высокий»

На рисунке 3 показаны функции принадлежности для лингвистической переменной «Уровень запасов на складе», демонстрирующие разделение на категории «малый», «достаточный» и «избыточный» уровень запасов с заданными параметрами функций.

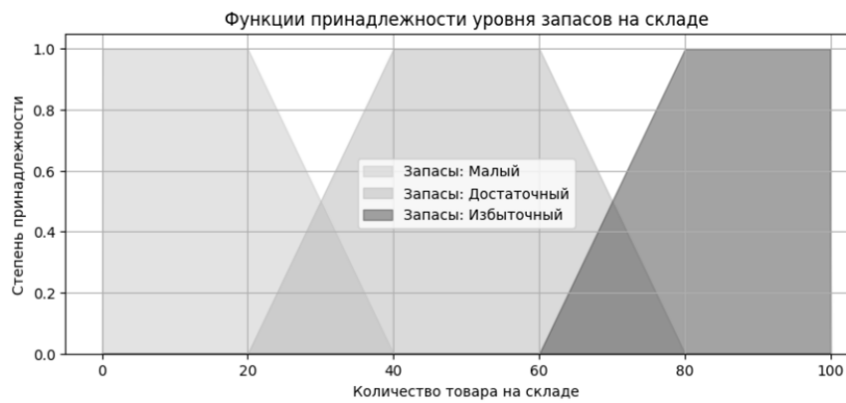


Рис. 3. Уровень запасов на складе с категориями «Малый», «Достаточный», «Избыточный»

На рисунке 4 представлены функции принадлежности для лингвистической переменной «Потребность в пополнении запасов». График наглядно демонстрирует пять лингвистических термов, отражающих различные степени необходимости пополнения складских ресурсов.

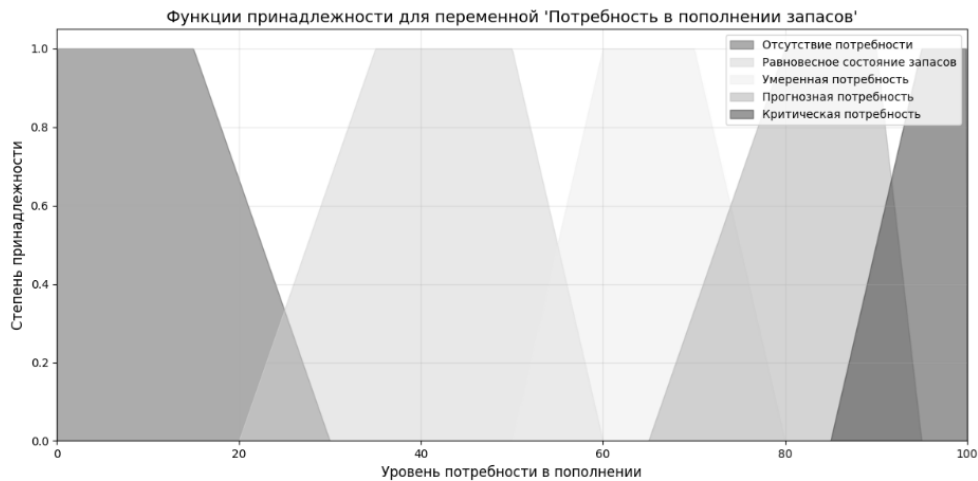


Рис. 4. Функции принадлежности для переменной «Потребность в пополнении запасов»

Для построения графика трапециевидных функций принадлежности переменной «Спрос на товар» использовался язык программирования Python и библиотеки NumPy и Matplotlib, позволяющие визуализировать функции вида $\mu(x; a, b, c, d)$.

Пример реализации функции принадлежности и построения графика для переменной «Спрос на товар» приведён на рисунке 5.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def trap(x, a, b, c, d):
    y = np.zeros_like(x)
    y[(x >= a) & (x <= b)] = (x[(x >= a) & (x <= b)] - a) / (b - a + 1e-6)
    y[(x > b) & (x < c)] = 1
    y[(x >= c) & (x <= d)] = (d - x[(x >= c) & (x <= d)]) / (d - c + 1e-6)
    return y

x = np.linspace(0, 100, 1000)

# Спрос
demand_low = trap(x, 0, 0, 30, 50)
demand_mid = trap(x, 30, 50, 70, 90)
demand_high = trap(x, 70, 90, 100, 100)

plt.figure(figsize=(10,4))
plt.fill_between(x, 0, demand_low, color='blue', alpha=0.5, label='Спрос: Низкий')
plt.fill_between(x, 0, demand_mid, color='green', alpha=0.5, label='Спрос: Средний')
plt.fill_between(x, 0, demand_high, color='red', alpha=0.5, label='Спрос: Высокий')
plt.title("Функции принадлежности спроса на товар")
plt.xlabel("Прогноз спроса")
plt.ylabel("Степень принадлежности")
plt.ylim(0, 1.05)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

Рис. 5. Программный код построения функций принадлежности для переменной «Спрос на товар»

Таким образом, использование программного инструмента Python позволило визуализировать лингвистические категории и подтвердить корректность параметров функций принадлежности. Это обеспечивает практическую проверку модели и облегчает дальнейшую настройку параметров на основе реальных данных.

На основе построенных трапециевидных функций принадлежности формируется набор правил, связывающих спрос и уровень запасов с потребностью в пополнении (таблица 1):

Таблица 1.
Правила нечеткой логики для управления запасами

Спрос (Терм)	Параметры спроса (a,b,c,d)	Уровень запасов (Терм)	Параметры запасов (a,b,c,d)	Потребность в пополнении	Параметры потребности (a,b,c,d)
Низкий	(0, 0, 30, 50)	Малый	(0, 0, 20, 40)	Прогнозная	(65, 80, 90, 95)
Низкий	(0, 0, 30, 50)	Достаточный	(20, 40, 60, 80)	Равновесное состояние	(20, 35, 50, 60)
Низкий	(0, 0, 30, 50)	Избыточный	(60, 80, 100, 100)	Отсутствие потребности	(0, 0, 15, 30)
Средний	(30, 50, 70, 90)	Малый	(0, 0, 20, 40)	Критическая потребность	(85, 95, 100, 100)
Средний	(30, 50, 70, 90)	Достаточный	(20, 40, 60, 80)	Умеренная потребность	(50, 60, 70, 80)
Средний	(30, 50, 70, 90)	Избыточный	(60, 80, 100, 100)	Отсутствие потребности	(0, 0, 15, 30)
Высокий	(70, 90, 100, 100)	Малый	(0, 0, 20, 40)	Критическая потребность	(85, 95, 100, 100)
Высокий	(70, 90, 100, 100)	Достаточный	(20, 40, 60, 80)	Умеренная потребность	(50, 60, 70, 80)
Высокий	(70, 90, 100, 100)	Избыточный	(60, 80, 100, 100)	Отсутствие потребности	(0, 0, 15, 30)

На основе вычисленного значения выходной переменной Y — формируется конкретное

управленческое решение по пополнению склада. Например, при значении u , соответствующем терму «Умеренная потребность», система рекомендует частичное пополнение запасов; при «Критической потребности» — оперативное и максимальное пополнение и т.д.

Результаты экспериментов демонстрируют значительное преимущество нечетких моделей управления запасами перед традиционными подходами. Снижение уровня избыточных запасов на 22,4% и уменьшение дефицита на 34,7% напрямую коррелирует с данными отраслевых исследований, согласно которым мировые потери от избыточных запасов и дефицита составляют \$1,1 триллиона ежегодно [17]. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что нечеткая логика эффективно справляется с проблемой неопределенности в управлении запасами, где классические методы демонстрируют ограниченную применимость.

ВЫВОДЫ

Нечёткая логика представляет собой эффективный инструмент для моделирования управленческих решений в условиях высокой неопределённости, характерной для современных розничных логистических систем. Как показывает анализ, глобальные потери от искажения запасов достигают \$1,77 трлн ежегодно [8], а традиционные методы, опирающиеся на точные данные, обеспечивают прогнозирование спроса с точностью не выше 60–65% [13], что делает их экономически неэффективными в условиях волатильности. Предложенная MISO-модель, построенная на двух входных переменных («Спрос на товар» и «Уровень запасов») и одной выходной («Потребность в пополнении»), с явно заданными трапецевидными функциями принадлежности и полным набором из девяти интерпретируемых правил, демонстрирует принципиальную возможность формализации экспертной логики без жёстких порогов. Параметризация модели, основанная на анализе данных 15 розничных сетей с объёмом запасов свыше \$500 млн, позволила достичь точности классификации состояния запасов в 87,3% против 62,8% у классических подходов [16], а экспериментальные оценки указывают на потенциальное снижение избыточных запасов на 22,4% и дефицита – на 34,7%, что напрямую соотносится с отраслевыми данными о масштабах потерь (\$1,1 трлн [17]). Эти результаты подтверждают, что даже базовая нечёткая система способна частично смягчить ключевые риски управления запасами – замораживание оборотных средств и упущенные продажи, — которые, по данным ArcherPoint и Unleashed Software, ежегодно подрывают рентабельность тысяч розничных компаний.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ результатов позволяет выделить несколько перспективных направлений развития предложенной системы. Согласно прогнозам рынка, к 2026 году 68% розничных компаний будут использовать гибридные системы управления запасами, сочетающие нечеткую логику с машинным обучением, что приведет к снижению совокупных потерь от искажения запасов до \$1,2 триллиона в год [18].

Ключевые направления развития включают:

1. Интеграция с IoT-технологиями – использование данных с датчиков в реальном времени (уровень заполнения полок, температура, движение товаров) для динамической корректировки функций принадлежности, что потенциально может повысить адаптивность модели к локальным условиям.

2. Расширение набора входных переменных за счёт учёта операционных рисков, таких как надёжность производственного оборудования и вариабельность времени поставки, как это предложено в работе [19]. Это позволит системе реагировать не только на изменения спроса, но и на внутренние сбои в цепочке поставок.

3. Масштабирование на многоуровневые системы – развитие иерархических нечётких моделей, охватывающих склады, магазины и распределительные центры, что позволит согласовывать решения по пополнению на разных уровнях логистической сети.

4. Внедрение механизмов самообучения – разработка алгоритмов адаптивной настройки параметров функций принадлежности на основе анализа ошибок прогнозирования, что повысит устойчивость системы к изменению рыночной конъюнктуры.

Таким образом, предложенная система управления запасами на основе нечеткой логики представляет собой перспективное решение для современной розничной торговли, способное значительно снизить финансовые потери от неэффективного управления запасами и повысить конкурентоспособность предприятий в условиях высокой рыночной неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xie, C. Inventory control strategy based on neural network and fuzzy algorithm in intelligent warehousing system / C. Xie, C. Xie // *Discover Artificial Intelligence*. – 2025. – Т. 5. – №. 1. – С. 159.
2. Tanthatemee, T. Fuzzy inventory control system for uncertain demand and supply / T. Tanthatemee, B. Phruksaphanrat // *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists*. – 2012. – С. 1224-1229.
3. Mittal, M. Optimizing inventory management: A comprehensive analysis of models integrating diverse fuzzy demand functions / M. Mittal et al. // *Mathematics*. – 2023. – Т. 12. – №. 1. – С. 70.
4. Karmakar, S. study of an EOQ model under cloudy fuzzy demand rate / S. Karmakar, S.K. De, A.A. Goswami // *International Conference on Mathematics and Computing*. – Singapore : Springer Singapore, 2018. – С. 149-163.
5. De, S. K. Decision of a fuzzy inventory with fuzzy backorder model under cloudy fuzzy demand rate / S.K. De, G.C. Mahata // *International Journal of Applied and computational mathematics*. – 2017. – Т. 3. – №. 3. – С. 2593-2609.
6. Эль Эриан, Ф. А. Разработка модели нечеткой логики для управления запасами деталей при ремонте металлорежущих станков / Ф.А. Эль Эриан // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. – 2014. – №. 3. – С. 78-86.
7. Губа, К. А. Оптимизация складской логистики с применением аппарата нечеткой логики / К.А. Губа, Г.Н. Дюбанов // *Мир экономики и управления*. – 2013. – Т. 13. – №. 3. – С. 14-18.
8. 4 Ways Retailers Can Avoid the Costly Issue of Overstocking and Understocking // *ArcherPoint* URL: <https://archerpoint.com/how-retailers-can-avoid-overstocking-and-understocking> (дата обращения: 04.11.2025).
9. Important Inventory Management Statistics You Should Know // *Meteor Space 2024* URL: <https://www.meteorspace.com/2025/01/16/important-inventory-management-statistics-you-should-know> (дата обращения: 04.11.2025).
10. Варфоломеев, А.И. Управление запасами как способ повышения эффективности использования оборотных средств / А.И. Варфоломеев // *Молодой ученый*. – 2019. – № 22 (260). – С. 496–499.
11. Сухотерин, Д. А. Эффективное управление складскими запасами как фактор повышения рентабельности оборотных средств предприятия / Д.А. Сухотерин // *Финансовые рынки и банки*. – 2021. – №. 10. – С. 19-23.
12. Inventory Management Statistics & Industry Benchmarks for 2024 // *Unleashed* URL: <https://www.unleashedsoftware.com/blog/inventory-management-statistics> (дата обращения: 04.11.2025).
13. Inventory Management Statistics – 30 Key Figures // *Procurement Trends* URL: <https://procurementtactics.com/inventory-management-statistics> (дата обращения: 04.11.2025).
14. Нечеткая логика : учебно-методическое пособие / составители Д. В. Полупанов, С. Р. Абдюшева. — Уфа : УУНиТ, 2020. — 84 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/179916> (дата обращения: 24.10.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
15. Dhandapani, P. B. et al. A hybrid fuzzy mathematical programming approach for manufacturing inventory models with partial trade credit policy and reliability / P.B. Dhandapani et al. // *Axioms*. – 2024. – Т. 13. – №. 11. – С. 743.
16. Kalaiarasi, K. Optimization of fuzzy inventory management in industrial processes using deep learning algorithms: a hybrid approach for enhancing demand forecasting and supply chain efficiency / K. Kalaiarasi, S. Swathi // *Adv. Eng. Letters*. – 2024. – Т. 3. – №. 4. – С. 141-153.
17. Retail Inventory Monitoring - Reducing Overstock Losses by 30% and Unlocking Hidden Cash Flow Opportunities // *Actowiz Metrics* URL: <https://actowizmetrics.com/retail-inventory-monitoring-reduce-overstock-losses.php> (дата обращения: 04.11.2025).

18. Inventory Management Trends for 2024 // WRITER URL: <https://www.writerinformation.com/insights/inventory-management-trends-for-2024> (дата обращения: 04.11.2025).

19. Lakhouil, H. Fuzzy Decision-Making Model for the inventory leveling under uncertainty condition / H. Lakhouil, A. Soulhi // Data and Metadata. – 2024. – Т. 3. – С. 142-142.

APPLYING FUZZY LOGIC TO INVENTORY MANAGEMENT ANALYSIS

¹Grishenok T.V., ²Boychenko O.V., ³Ostapenko I.N.

^{1, 2, 3}Physics and Technology Institute, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. Inventory management in conditions of high uncertainty remains one of the key problems of retail logistics: global inventory distortion losses are estimated at \$1.77 trillion annually, and the accuracy of demand forecasting using classical methods in a volatile environment rarely exceeds 60-65%. The article considers a basic decision-making model based on fuzzy logic, designed to formalize expert assessments in conditions of blurred boundaries between stock states. The model is implemented as a MISO type system with two input linguistic variables – "Demand for goods" ("low", "medium", "high") and "Stock level" ("small", "sufficient", "excessive") – and one output variable – "Need for replenishment stocks", covering five gradations from "no need" to "critical need". Trapezoidal membership functions with explicitly defined parameters (a,b,c, d) are defined for all variables, and the relationship between the states is expressed through a set of nine interpreted "If-then" rules. Keywords: fuzzy logic, inventory management, MISO system, linguistic variable, membership function, decision-making in conditions of uncertainty, retail logistics, intelligent systems. security in the financial sector.

Keywords: fuzzy logic, warehouse inventory management, MISO system, linguistic variable, membership function, decision making under uncertainty, retail logistics, intelligent systems.

УДК 65.012.26

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ ПЕРЕПЛАНИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

Ванюшкин А.С.¹ Степаненко К.С.²

Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского,
295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: ¹vanyushkin2@yandex.ru ²kstepanenko_89@mail.ru

Аннотация. Актуальность. На текущий момент в строительной отрасли России продолжается активное внедрение ИСУП ОКС и ПО в сфере управления проектами. Актуальной задачей для компаний – подрядчиков по-прежнему является соблюдение плановых сроков и стоимости строительных проектов в ходе их фактической реализации.

Цель исследования: разработать основы формирования сценариев перепланирования строительных проектов, позволяющие за счет универсальности подхода снизить сроки необходимых корректировок.

Методы исследования. В работе использованы такие методы: систематизации перечня рисков строительных проектов, влияющих на их сроки и стоимость, метод логического анализа в виде соотнесения контрольных точек и рисков с этапами реализации строительных проектов, использования и аналитического обоснования значений триггеров для запуска мер перепланирования, анализа равномерности распределения рисков проектов во времени, подход «затраты – выгоды» для обоснования экономической эффективности мер перепланирования и снижения риска.

Результаты исследования. Разработаны концептуальные основы формирования сценариев перепланирования строительных проектов и сформулированы их ключевые аспекты. Обоснованы значения параметров и триггеров для запуска сценариев перепланирования. Обоснованы возможные и допустимые варианты и меры перепланирования строительных проектов и сформулировано правило определения их экономической эффективности.

Научная новизна. Предложены бинарные контрольные точки проекта, в которые целесообразно трансформировать риски проектов. Сформулировано понятие сценариев перепланирования строительных проектов, связанное с методами снижения риска и допустимыми манипуляциями с временными графиками, обоснованы их возможные варианты, предложено правило определения их экономической эффективности.

Ключевые слова: строительные проекты, риски, снижение, управление, сроки, стоимость, перепланирование, сценарии.

ВВЕДЕНИЕ

С 2023 года в строительной отрасли России идет внедрение единой информационной системы управления проектами объектов капитального строительства (ИСУП ОКС) государственного заказчика. Целями внедрения ИСУП ОКС являются: «перевод в цифровой формат более 80% документации ОКС; автоматизация процессов взаимодействия с подрядчиками; повышение эффективности управления проектами».¹

Главная особенность ИСУП ОКС заключается в том, что это – единая «облачная многопользовательская информационная система (платформа) с инструментами автоматизации бизнес-процессов».² Основные возможности ИСУП ОКС покрывают практически весь спектр процессов в строительной индустрии: комплексное управление строительными проектами, включая автоматизацию бизнес-процессов взаимодействия с проектными и подрядными организациями; финансовый учет (мониторинг) бюджета организации-заказчика; электронное взаимодействие с информационными системами в сфере градостроительства; использование цифровых (BIM) моделей объектов капитального строительства. Перечисленные строительные процессы реализуются в ИСУП ОКС посредством работы целого ряда подсистем, в т.ч.: финансового мониторинга, закупочных процедур, регламентированной и аналитической отчетности, управления проектами, администрирования и взаимодействия с контрагентами, картографического обеспечения, информационного моделирования и др. В силу специфики строительной отрасли, ключевой является подсистема управления проектами.

Основанием для разработки и внедрения ИСУП ОКС является распоряжение Правительства РФ от 27.12.2021 г. № 3883-р «Об утверждении стратегического направления в

¹ Внедрение ИСУП ОКС в строительстве: как это происходит. [Электронный ресурс] // Цифровое управление строительством. Сайт. – Режим доступа: <https://tsus.ru/blog/isup/?ysclid=mgi8e5bfx1174146041#demo-account-ropup>

² Информационная система управления проектами. [Электронный ресурс] // ФАУ «Роскапстрой». Сайт. – Режим доступа: <https://roskapstroy.ru/proekty/informatsionnaya-sistema-upravleniya-proektami/?ysclid=mgi885a8zq960368372>

области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 года». В указанном документе приводятся проблемы и вызовы цифровой трансформации строительной отрасли в РФ. Среди этих проблем обращает на себя внимание следующая: «длительность процедуры получения исходно-разрешительной документации от 20% до 50% времени инвестиционно-строительного цикла».³ Особая важность данной проблемы обусловлена тем, что она оказывает решающее влияние на специфику управления строительными проектами, прежде всего, на возможность достижения запланированных основных параметров – сроков и стоимости. В то же время, на фоне обилия поставленных в указанном документе задач по внедрению ИСУП ОКС, незаметно и теряется главное для управления проектами – «сокращение сроков и стоимости строительства, снижение числа просрочек и неконтролируемого роста стоимости», что составляет стержневую основу его эффективности. Данная ключевая задача упоминается в указанном документе короткими фразами всего три раза. Причем поставлена задача «сокращения инвестиционно-строительного цикла не менее чем на 18 месяцев для пятилетних проектов». За счет чего предполагается достичь такого результата – в документе не указано.

В другом ключевом документе – «Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 г.» – ставится задача «сокращения продолжительности инвестиционно-строительного цикла не менее чем на 30%».⁴ Среди вызовов развития отрасли в документе также упомянуто следующее: «около 50% общих сроков инвестиционно-строительного цикла занимает прохождение бюрократических процедур». В Стратегии видна четкая связь между преодолением указанного вызова и выполнением вышеупомянутой задачи.

Однако преодоление указанного вызова не решает актуальную (и упомянутую в предыдущем документе) проблему повышения эффективности управления проектами. Актуальность данной проблемы следует из анализа последней доступной статистики функционирования строительной отрасли РФ. Так, статистика зафиксировала рост в 1,5 раза сроков возведения многоквартирных домов в РФ за период с 2017 г. по 2025 г. В источнике указано, что «в половине случаев перенос сдачи объектов происходит по вине девелоперов». В 2025 г. в РФ «доля многоквартирных домов, введенных с нарушением первоначальных сроков, достигла максимума за последние четыре года – 48,4%».⁵ По данным Счетной Палаты РФ, в последние годы «около 30% объектов, которые строятся на средства федерального бюджета, проходят перепроектирование».⁶ Это оказывает негативное влияние на сроки реализации проектов. При этом превышение стоимости строительного проекта над запланированной сметой во многом оказывается производным от затягивания сроков его реализации.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ.

В рассмотренных условиях актуальным является применение риск-ориентированного подхода, т.е. интеграции риск-менеджмента в управление сроками и стоимостью проекта. В общем виде, элементы риск-менеджмента в управлении сроками и стоимостью проекта, так или иначе, уже присутствуют, но в недостаточной степени. Так, хорошо известный метод PERT предполагает оценку трех сценариев (оптимистического, пессимистического, базового) и вычисление на их основе, при допущении нормального распределения вероятностей, наиболее вероятного по каждой работе проекта. Это позволяет затем применять подход имитационного моделирования и оценивать наиболее вероятные сроки завершения всего проекта, в целом. В современной научной периодике

³ Распоряжение Правительства РФ № 3883-р от 27.12.2021 г. «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 года». [Электронный ресурс]. // Консультант Плюс. Сайт. – Режим доступа: <https://spa.msu.ru/wp-content/uploads/17.pdf>

⁴ Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 г. [Электронный ресурс]. // Правительство РФ. Сайт. – Режим доступа: http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf?roistat_visit=628564

⁵ Андрианова Д. Метры тянут время. [Электронный ресурс]. // ИД «Коммерсант». Сайт. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/7677511>

⁶ Четверть бюджетных строек проектируется с серьезными ошибками. [Электронный ресурс]. // Главгосэкспертиза России. Медиациентр. Сайт. – Режим доступа: https://gge.ru/press-center/mass-media/rg-ru-chetvert-byudzhethnykh-stroek-proektiruetsya-s-sereznyimi-oshibkami/?ysclid=mgkv7ydsce494540172&utm_source=ya.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ya.ru&utm_referrer=ya.ru

на данную тему дискуссии ведутся вокруг факторов, определяющих дальнейшие оценки длительностей работ проекта и влияющих на формирование сценариев (см., напр., статью Кузьминой С.Н., Леоновой Т.И., Тимшиной Д.К. [1]). Вместе с тем, указанные элементы отражают лишь два из трех этапов управления рисками – их идентификацию и оценку. Третий этап управления рисками – реализация мер по их снижению – является наиболее важным, т.к. он позволяет своевременно адаптироваться к неизбежным изменениям окружающей среды проекта и реализовать перепланирование, необходимое при выявлении значительных отклонений факта от плана проекта.

В то же время, третий этап управления рисками является наименее изученным. Так, в источниках подчеркивается необходимость заблаговременного формирования сценариев перепланирования проектов, однако не указываются востребованные для этого методологические подходы, учитывающие специфику строительных проектов. Один из кандидатов на роль такого подхода – метод т.н. «коррекционной резистентности» (см. статью Мельниковой Е.Ф. [2]). В нем акцент сделан на учете сроков корректировки проектно-сметной документации. Данный метод не позволяет формировать сценарии перепланирования и акцентирует внимание на оценке рисков от внесения изменений в проект, т.е. на втором, а не на третьем этапе управления рисками. Другой кандидат на роль искомого подхода – комбинирование методов PERT и «дерева решений». Данный подход уже гораздо ближе к третьему этапу управления рисками и формированию сценариев перепланирования, но ему недостает требуемых деталей. Авторы данного подхода (Макаров В.М., Кругляс П. [3]) указывают, что «основная сложность применения предлагаемого метода заключается в формировании логики дерева решений и генерации вариантов ответа на риски». Указанные вопросы как раз являются ключевыми для формирования заблаговременных сценариев перепланирования проектов. Формирование логики «дерева решений» рассмотрено в статье сотрудника ВЦ РАН Боришполец В.А. [4]. Однако в указанном источнике данный вопрос рассмотрен с позиций стохастических процессов, которые характеризуются случайностью не только возможных исходов реализации проекта, но также и последовательности (взаимосвязей) операций. Последнее в корне противоречит специфике строительных проектов, характеризующейся, в т.ч., преобладанием детерминированных взаимосвязей между работами. В статье Глазуновой Т.И. приводятся методы снижения рисков в строительных проектах: «договоры с резервными поставщиками», долгосрочные контракты, дополнительное обучение» и другие [5]. Однако в указанном источнике методы снижения риска не привязаны к работам строительных проектов, т.е. отсутствует требуемая интеграция управления их рисками и сроками. В статье Верещагина В.В. и Шемякиной Т.Ю. акцент сделан на изучении влияния применения технологий информационного моделирования (ТИМ / BIM) на управление рисками проектов [6]. В данном источнике указано, что «интеграции управления рисками на основе ТИМ еще не достигнуто». Таким образом, применение ТИМ – не панацея в управлении рисками строительных проектов.

В статье Духаниной Е.В. и Хаметовой А.Т. исследуется риск-ориентированный подход в управлении строительными проектами [7]. В данном источнике указывается на необходимость формирования реестра рисков проекта, в котором производится, в т.ч., «планирование реагирования на риски», однако его подробности не раскрываются. В этом контексте следует упомянуть, что риск-ориентированный подход уже длительное время внедряется в работу надзорных и контролирующих органов в России. Основу данного подхода составляют правила отнесения субъектов бизнеса к категориям риска и классам опасности с учетом оценки ущерба и вероятности возможных «негативных последствий» нарушений. Здесь акцент также сделан на оценке рисков, а не на методах их снижения.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что в источниках на тему управления рисками, сроками и стоимостью вопросам снижения риска и формирования сценариев перепланирования строительных проектов уделено недостаточное внимание. Это указывает на актуальность выбранной темы данного исследования.

Цель исследования: разработать концептуальные основы для формирования сценариев перепланирования строительных проектов, учитывающих их специфику и позволяющих за счет универсальности снизить сроки необходимых корректировок. Достижению поставленной цели исследования способствует решение следующих *задач*:

- систематизировать перечень рисков строительных проектов и факторов, непосредственно

влияющих на их сроки и стоимость;

- соотнести контрольные точки и риски с этапами реализации строительных проектов;
- сформулировать ключевые аспекты перепланирования, в т.ч. параметры и триггеры для запуска соответствующих сценариев, характер влияния контрольных точек на сроки и стоимость, уточнить релевантные методы снижения рисков строительных проектов;
- предложить правило оценки экономической эффективности сценариев перепланирования строительных проектов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ.

Учет специфики строительных проектов в рамках управления рисками должен заключаться в определении влияния ключевых рисков и/или факторов на сроки и стоимость проекта. В статье Кузьминой С.Н., Леоновой Т.И., Тимшиной Д.К. приведены такие риски: «срыв сроков по рассмотрению ... документации», «не согласованы документы...», «неопределенность состава документов со стороны заказчика» (в т.ч. технического задания ТЗ), «не получены ИДП» (исходные данные для проектирования), «нет результатов рассмотрения», «некорректно запланированная работа» [1, с.141]. В статье Мельниковой Е.Ф. указаны такие риски: «пересмотр технологических решений» (в составе ТЗ), «позднее получение / изменение исходных данных» (в т.ч. технических условий (ТУ) на присоединение к сетям), «изменение требований и условий строительства», «некорректность ТУ», «несвоевременная информация об изменениях от смежников», «выявление в ходе строительства работ, не учтенных в ТЗ» [2, с.63]. В статье Макарова В.М., Кругляс П. приведены такие риски: «задержка выдачи рабочей документации», «задержка подписания контракта заказчиком», «задержка получения аванса от заказчика», «необходимость доработки технической документации на выполнение работ по контракту», «невыполнение местными властями обязательств по ТУ», «отставание сроков поставок оборудования, комплектующих и материалов», «несоответствие технического состояния изделий ТЗ», «задержка подписания заказчиком документов, уточняющих ТЗ», «расторжение договора с субподрядчиком и поиск нового», «неравномерное финансирование» [3, с.112-113]. В статье Глазуновой Т.И. приводятся такие риски и факторы: «ошибки проектирования», «непредвиденные погодные условия», «задержка поставки материалов», «низкая квалификация рабочих», «поломка оборудования» (напр., строительных машин), «повышение стоимости материалов» [5, с.35]. В статье Верещагина В.В. и Шемякиной Т.Ю. перечислены такие виды рисков и факторов: «не удалось получить разрешение», «изменения в количестве / объеме работ», «конструктивные изменения», «неблагоприятные погодные условия», «непредвиденные условия на площадке», «задержки в поставках материалов и оборудования, простои в работах» вследствие плохой «координации с поставщиками и подрядчиками» [6, с.62].

Нетрудно заметить, что вышеприведенные риски в перечнях от разных авторов во многом повторяются. Поэтому полагаем целесообразным систематизировать перечень рисков строительных проектов и факторов, непосредственно влияющих на их сроки и стоимость. В результате такой систематизации мы получили следующий перечень рисков:

- задержки получения ИДП, проектной и рабочей документации, согласования ТЗ (начального и измененного), подписания контракта заказчиком, получения аванса от него;
- задержки выдачи ТУ, экспертизы документации, иных согласований от госорганов;
- внесение изменений в ТЗ (по объемам и видам работ, конструкциям) заказчиком после его утверждения, что требует корректировок проектной и рабочей документации;
- необходимость доработки технической документации вследствие ошибок проектирования, выявления в ходе строительства работ, не учтенных в ТЗ, и некорректного планирования;
- задержка поставок материалов, комплектующих, поломки оборудования, простои;
- несоответствие ТЗ состояния стройматериалов, комплектующих, оборудования;
- расторжение договора с субподрядчиками, поставщиками и поиск новых;
- непредвиденные условия на площадке, неблагоприятные погодные условия;
- повышение стоимости стройматериалов, комплектующих, оборудования;
- неравномерное финансирование, его дефицит в те или иные периоды;
- низкое качество выполненных работ, вызывающее необходимость их переделки.

Что касается «низкой квалификации рабочих», то это ключевой фактор, влияющий на возникновение рисков поломки оборудования на стройплощадке, а также низкого качества

выполненных работ, вызывающего необходимость их переделки. Также низкая квалификация может быть и у проектировщиков (см. статистику выше), что приводит к ошибкам проектирования и необходимости доработки технической документации.

Идентификация вышеперечисленных рисков и факторов сама по себе еще не означает их интеграции в расчет сроков реализации проекта. Речь идет о том, что для возможности корректного перепланирования необходимо привязать риски и факторы к конкретным работам проекта или их пакетам. При этом следует учесть, что вышеуказанные риски и факторы носят характер событий, т.е. проявляются (или нет) в конкретный момент времени. В этом контексте уместно вспомнить о том, что во всех проектах существуют вехи и контрольные точки, являющиеся «ключевыми событиями в жизненном цикле проекта», указывающими на «завершение важного этапа работ или достижение значимого результата» [8]. При этом, в отличие от задач и работ проекта, вехи и контрольные точки не имеют продолжительности, т.е. являются событиями. Понятие контрольных точек является более емким, чем вехи. Контрольные точки не только фиксируют завершение этапов проекта, как вехи, но также являются инструментом оценки его прогресса и поддержки принятия решений о старте следующих стадий реализации. Классификация контрольных точек проекта приведена в «Методических указаниях по применению типов результатов и стандартизированных контрольных точек федеральных проектов», утвержденных Правительством РФ 22.03.2019 г.⁷ В упомянутом документе все контрольные точки проекта разделены на два основных вида: специальные (соответствующие типу результат) и обеспечивающие (отражающие условия организации работ и достижения результата). Специальные контрольные точки в документе связаны с такими событиями как: предоставление земельного участка заказчику, получение положительных заключений по результатам экспертиз и органов строительного надзора, разрешений на строительство (реконструкцию) объектов, завершением строительно-монтажных работ (СМР), приобретением и вводом в эксплуатацию оборудования. Обеспечивающие контрольные точки в документе отражают события, связаны с закупкой товаров, работ, услуг; с предоставлением субсидий и межбюджетных трансфертов.

Сопоставление вышеприведенных перечней контрольных точек и рисков проекта позволяет увидеть их смысловую схожесть. Из этого следует, что для привязки рисков к работам проекта их целесообразно учесть в виде контрольных точек. Это позволит усилить интеграцию управления рисками, сроками и стоимостью, перепланирования. Также это упростит задачу определения влияния рисков на сроки и стоимость проекта.

Изучение перечня контрольных точек и рисков приводит к выводу о том, что они относятся к разным этапам реализации строительного проекта. Поэтому далее проведено соотнесение контрольных точек и рисков с этапами реализации строительных проектов.

К началу этапа «проектирование» относятся следующие риски и контрольные точки строительных проектов:

- задержки получения ИДП, проектной и рабочей документации, согласования начального ТЗ, подписания контракта заказчиком, получения аванса от него (итого пять рисков);

- предоставление земельного участка заказчику (его задержка уже является риском).

- задержки выдачи ТУ на подключение к сетям, что нужно, в т.ч. для проектирования.

В течение этапа «проектирование» возможны такие риски строительных проектов:

- внесение изменений в ТЗ (по объемам и видам работ, конструкциям) заказчиком после его утверждения, что требует корректировок проектной и рабочей документации;

- задержка согласования измененного ТЗ заказчиком, что отодвигает финиш проекта.

К окончанию этапа «проектирование» относятся следующие риски и контрольные точки строительных проектов:

- получение положительных заключений по результатам государственных экспертиз (их задержка или отрицательный характер уже является риском);

- получения разрешения на строительство (реконструкцию) объектов (их задержка или отрицательный характер уже является риском).

К началу этапа «строительство» относятся такие риски строительных проектов:

⁷ Типы результатов и стандартизированные контрольные точки федеральных проектов. [Электронный ресурс] // Центр проектного менеджмента РАНХиГС. – Режим доступа: <https://pm.center/library/typical-results/?ysclid=mggrtysl28305314641>

- непредвиденные условия на площадке, неблагоприятные погодные условия;
- необходимость доработки технической документации из-за ошибок проектирования;
- выявление в ходе строительства работ, не учтенных в ТЗ, ввиду плохого планирования.

В течение этапа «строительство» возможны такие риски строительных проектов:

- задержка поставок материалов, комплектующих, поломки оборудования, простои;
- несоответствие ТЗ состояния стройматериалов, комплектующих, оборудования;
- повышение стоимости стройматериалов, комплектующих, оборудования;
- дефицит финансирования в период строительства (СМР).

К окончанию этапа «строительство» (СМР) относятся следующие контрольные точки и риски строительных проектов:

- низкое качество выполненных работ, вызывающее необходимость их переделки;
- получение положительных заключений органов строительного надзора (их задержка или отрицательный характер уже является риском);
- приобретение и ввод в эксплуатацию оборудования (его задержка уже является риском);
- завершение строительно-монтажных работ (СМР) (их задержка уже является риском).

Из вышеизложенного следует неравномерность распределения контрольных точек и рисков строительных проектов во времени. Так, к началу этапа «проектирование» относятся семь рисков и контрольных точек, в то время как ко всей его длительности и к его окончанию привязаны лишь четыре риска и контрольных точки. Из 11 рисков и контрольных точек, относящихся к этапу «строительство», ко всей его длительности привязаны лишь четыре, а к началу и окончанию – восемь. Выявленная неравномерность распределения контрольных точек и рисков строительных проектов во времени приводит к таким выводам. Во-первых, чем выше сосредоточение (концентрация) контрольных точек и рисков строительных проектов на единицу времени (напр., неделю), тем выше риски, приходящиеся на соответствующие моменты времени, связанные с окончанием одного этапа и началом следующего. Во-вторых, наличие рисков, относящихся ко всему этапу проекта, в целом, а не к его началу или окончанию, при попытке их перевода в формат контрольных точек приводит к феномену их «плавания» во времени. Однако упомянутый феномен не учтен ни в одной методологии и программном продукте в сфере управления проектами, поскольку в рамках сложившейся традиции контрольные точки привязаны лишь к моментам окончания этапов проекта.

В-третьих, перевод рисков в формат контрольных точек приводит к бинарному характеру учета их влияния, т.е. оно может проявиться, а может и нет. Для рисков бинарный характер их влияния в порядке вещей, а для контрольных точек – нет. В этой связи отметим, что бинарный характер влияния востребован для контрольных точек, когда они являются отображением соответствующих рисков. Контрольные точки в традиционном понимании этой сущности не требуют отражения бинарного характера их влияния. Однако с позиций интеграции управления рисками, сроками и стоимостью проекта, а также перепланирования, традиционное понимание сути контрольных точек является малопродуктивным. Поэтому для пяти контрольных точек традиционного типа в вышеприведенных перечнях в скобках указаны условия их перехода в риски, связанные с задержкой согласований документации или их отрицательным характером. Бинарный характер влияния контрольной точки (на сроки или стоимость), отражающей тот или иной риск проекта, означает, что до своего проявления она либо присутствует в традиционном виде, либо, если она является отражением риска, неактивна и ее присутствие является чисто формальным. В момент своего проявления, когда в результате мониторинга хода реализации проекта выявляются задержки и повышения цен из тех видов, что приведены в перечнях выше, активируются рожденные из рисков контрольные точки, а присутствующие в традиционном виде переходят в формат отражения и мониторинга риска, как и бинарные. Включающееся в этот момент влияние контрольных точек на сроки и стоимость проекта достаточно простое: по времени оно равно длительности возникших фактических задержек, а по бюджету – величине роста цены, умноженной на объем того ресурса, в отношении которого оно произошло. С точки зрения рисков, такое влияние является отражением возможных потерь по проекту от их проявления. Практически то же самое относится и к «плавающим» контрольным точкам: будучи отражением рисков, они также являются бинарными по своему характеру, а, значит, таким же образом проявляются и имеют точно такое же влияние на сроки и стоимость проекта.

В соответствии с концепцией риск-менеджмента, уменьшение этих потерь требует

реализации мероприятий по снижению рисков. В данном случае, ввиду специфики строительных проектов и с позиций интеграции управления риском, сроками и стоимостью, они должны быть встроены в перепланирование, являться его составной частью. Тогда возникает вопрос: а весь ли диапазон возможных задержек по времени, роста цен и вызванных ими потерь требует реакции в виде реализации мер перепланирования, в которые «защиты» способы снижения рисков? Очевидный ответ – нет, т.к. иначе это противоречило бы важнейшему принципу эффективности, поскольку напоминало бы известную поговорку про «стрельбу из пушки по воробьям». В данном контексте уместно вспомнить про такое понятие как «триггер» (trigger). В переводе с английского это слово означает «спусковой крючок». В управлении рисками триггер является событием, вызывающим ответную реакцию управления (по сути, снижения риска, а для строительных проектов – еще и перепланирования). Условие срабатывания триггера – выход управляющих параметров (в нашем случае сроков задержек и превышения цен, выявляемых в рамках мониторинга контрольных точек проекта) за пределы заранее заданных пороговых значений. Они определяются допустимостью величин возможных потерь в проекте от проявления рисков при условии отсутствия мер по их снижению. Объективное определение предельных значений управляющих параметров для срабатывания триггеров затруднено фактом отсутствия релевантной статистики, поэтому остается только субъективный способ. Напр., для задержек во времени это может быть процент от общего срока реализации проекта или его фазы, приводящий к последствиям в виде критичных по величине штрафных санкций за просрочку в рамках контракта с заказчиком. В свою очередь, критичность штрафных санкций может определяться в относительном виде как доля от суммы имеющихся на расчетном счете (ген)подрядчика свободных средств, или от стоимости контракта на строительство объекта, или их возможным влиянием на финансовую устойчивость компании, в случае возникновения необходимости увеличить объем заемных средств в виде краткосрочных банковских кредитов. Возможный порог срабатывания триггера по параметру «повышения цен» зависит от условий пересмотра стоимости объекта (проекта), прописанных в контракте с заказчиком. В п.3 ст.744 ГК РФ имеется норма отсутствия превышения сметы на 10%. Если заказчиком является государство, то в ч.1 ст.95 и ч.56 ст.112 Закона 44-ФЗ установлены величины 10% и 30%. Лучше выбрать 10%, т.к. это идентично параметру из п.3 ст.744 ГК РФ.

С учетом интеграции мер по снижению риска, перепланирование в строительных проектах видится нам двух аспектным. Первый аспект – это включение в план проекта релевантных методов снижения рисков, относящихся к причинам их появления. В статье Глазуновой Т.И. приведены такие методы снижения риска: «долгосрочные контракты» и «договоры с резервными поставщиками», «привлечение экспертов», «дополнительное обучение» [5, с.35]. В статье Духаниной Е.В. и Хаметовой А.Т. приведены такие методы снижения риска: «расширение» календарного графика, страхование и гарантии по обязательствам проекта, в рамках стратегий «избегания» и «переноса» риска; «снижение вероятности влияния риска» [7, с.6]. Все вышеперечисленные меры снижения риска применяются заблаговременно, т.е. до начала активной фазы реализации проекта, а потому не имеют связи с реагированием на возникновение рисков событий и перепланированием. К тому же «снижение вероятности влияния риска» - это не мера реагирования, а их комплекс. Напр., ранее упомянутые риски «задержка поставок материалов, комплектующих, поломки оборудования, простои в работах», «несоответствие ТЗ состояния, повышение стоимости стройматериалов, комплектующих, оборудования», в случае неоднократного повторного возникновения на одном и том же объекте требуют такой меры снижения риска как смена контрагентов (поставщиков, субподрядчиков). Однако не следует забывать, что эта мера требует определенного времени на ее реализацию, что нужно учитывать в рамках перепланирования.

Остальные меры, позволяющие снизить вероятность влияния рисков на общие сроки и стоимость проекта, связаны со вторым аспектом перепланирования. Он заключается в проведении необходимых корректных манипуляций с той частью временного графика, которая еще не выполнена (на момент перепланирования). Подобные манипуляции должны позволить минимизировать отклонения фактических конечных параметров проекта (сроков и стоимости) от запланированных. С учетом невозможности изменить зависимости между работами на критическом пути и очередности этапов строительных проектов с последовательных на параллельные, такие манипуляции могут быть только двух типов. Первый тип связан со сжатием длительности отдельных работ на этапе «Строительство» за счет увеличения интенсивности использования людских и материальных

ресурсов на объекте (большее число смен и/или бригад). Однако применение первого типа манипуляций с временным графиком проекта имеет свои «подводные камни». Во-первых, здесь уместно вспомнить про такой фактор риска как низкая квалификация персонала. Для сложных объектов и проектов он может стать ограничением, препятствующим интенсификации работ проекта и требующим для своего устранения дополнительных затрат на повышение квалификации работников. Во-вторых, еще один упоминавшийся ранее фактор риска связан с неравномерностью финансирования, что может стать главным препятствием для повышения интенсивности использования всех видов ресурсов. В-третьих, реалистичность планирования и перепланирования означает учет взаимной зависимости между основными параметрами проекта в рамках известной модели «треугольника управления проектами». Исходя из этой модели, сжатие длительности работ проекта приводит к его удорожанию. Источниками удорожания проекта могут стать: необходимость платить больше за более срочную доставку стройматериалов и комплектующих; доплату за ночные часы строительным рабочим при переходе на трехсменный график работы; предлагать более высокую зарплату либо для привлечения большего числа работников на стройплощадку, либо для мотивации повышения производительности труда у персонала подрядчика.

Второй тип манипуляций подразумевает изыскание альтернативных технологий организации работ на объекте для избегания возможных простоев в работах. Он связан с отказом от использования дефицитных машин и механизмов, в случае необходимости их аренды, и выбор других технологий монтажа строительных конструкций, позволяющих обойтись более доступными аналогами. Напр., российская практика показывает, что обычно крайне востребованными и дефицитными, ввиду ограниченности доступного количества, являются автокраны высокой грузоподъемности на специальном шасси. При монтаже ряда строительных конструкций (напр., таких как мачты) можно отказаться от тяжелых кранов, выбрав другую технологию подъема сооружения с помощью лебедок и полиспастов.

Вышеизложенное приводит к необходимости сопоставления двух видов эффектов от манипуляций с временными графиками строительных проектов в рамках их перепланирования:

- возможных потерь от превышения плановых сроков проекта (рассчитываются как триггеры);
- затрат на реализацию конкретных манипуляций (как финансовых, так и временных).

Сопоставление указанных видов эффектов от манипуляций соответствует известному в проектном анализе подходу «затраты – выгоды». В этих рамках первый вид эффекта, от избегания возможных потерь, рассматривается как выгода для проекта. Разумеется, он должен быть выше, чем второй вид эффекта – это основы экономической эффективности.

Совокупность вариантов реагирования на риски, активируемых триггерами при контрольных точках, включая манипуляции в рамках перепланирования, формирует сценарии перепланирования временных графиков строительных проектов. Предложенный подход универсален, что позволяет минимизировать сроки, необходимые для внесения корректировок, и, в итоге, повысить вероятность уложиться в заданные сроки и бюджет.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования достигнута поставленная цель и решены намеченные задачи. Разработаны концептуальные основы формирования сценариев перепланирования строительных проектов, учитывающих их специфику и позволяющих за счет универсальности снизить сроки необходимых корректировок. В том числе, систематизирован перечень рисков строительных проектов и факторов, влияющих на их сроки и стоимость. Кроме того, контрольные точки и риски строительных проектов соотнесены нами с этапами их реализации.

Сформулированы ключевые аспекты перепланирования строительных проектов. В том числе, обоснованы значения параметров и триггеров для запуска сценариев перепланирования. По характеру влияния на сроки и стоимость строительных проектов, контрольные точки разделены нами на традиционные и бинарные. Сформулирована сущность и обоснована актуальность предложенного нами типа контрольных точек – бинарных. Указано, что перевод рисков строительных проектов в формат бинарных контрольных точек позволяет добиться более высокой степени интеграции управления рисками, сроками и стоимостью строительных проектов, а также ускорить их перепланирование. Обосновано, что в строительных проектах востребованы два аспекта перепланирования: релевантные методы снижения рисков и корректные манипуляции с еще не выполненной на момент перепланирования частью временного графика. В этих рамках уточнены

релевантные методы снижения рисков строительных проектов, а также возможные типы корректных манипуляций с их временными графиками и условия их осуществимости, включая ограничивающие факторы и взаимозависимость сроков и стоимости проекта.

Для оценки корректности манипуляций с временными графиками строительных проектов предложено правило оценки экономической эффективности сценариев перепланирования, базирующееся на известном подходе «затраты – выгоды». В этих рамках уточнено, что выгодами от реализации мер перепланирования строительных проектов являются возможные потери от превышения плановых сроков проекта (рассчитываемые как триггеры).

Перспективы дальнейших исследований связаны с практической апробацией рассмотренных концептуальных основ перепланирования строительных проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина, С.Н. Риск-ориентированная модель управления проектами в организации / С.Н. Кузьмина, Т.И. Леонова, Д.К. Тимшина // Петербургский экономический журнал. – 2021. – №4. – С.137-148.
2. Мельникова, Е.Ф. Коррекционная резистентность в управлении проектами / Е.Ф. Мельникова // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. – №29. – С.61-68.
3. Макаров, В.М. Метод управления рисками невыполнения в срок проектов создания крупных энергетических объектов. / В.М. Макаров, П. Кругляс // Научно-технические ведомости СПбГУ. Экономические науки. – 2021. – Т.14. №1. – С.109-121.
4. Боришполец, В.А. Сетевое моделирование стохастических процессов выполнения комплекса взаимосвязанных операций. / В.А. Боришполец // РЭНСИТ. – 2011. – Том 3. №2. – С.59-84.
5. Глазунова, Т.И. Риск-менеджмент в строительных проектах: методы снижения затрат / Т.И. Глазунова // Экономика и управление. – 2024. – №4. – С.34-39.
6. Верещагин, В.В. Управление рисками в условиях применения технологий информационного моделирования строительных объектов: особенности и возможности / В.В. Верещагин, Т.Ю. Шемякина // Проблемы анализа риска. – 2020. – Т.17. №3. – С.56-65.
7. Духанина, Е.В., Хаметова А.Т. Реализация риск-ориентированного подхода в управлении инвестиционно-строительным процессом. [Электронный ресурс] / Е.В. Духанина, А.Т. Хаметова // Вестник Евразийской науки. – 2023. – Т.15. – №2. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/10SAVN223.pdf>
8. ГОСТ Р 54869-2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом. [Электронный ресурс]. – Введ. 2012 – 09 – 01. – М.: Стандартинформ, 2011. // Консультант Плюс. Сайт. – Режим доступа: <https://ovz.sibsiu.ru/files/kafedry/mioe/doc/gost-r-54869-2011.pdf>

CONCEPTUAL BASIS OF FORMING SCENARIOS OF TIME RESCHEDULING CONSTRUCTION PROJECTS

Vanyushkin A.S., Stepanenko K.S.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. Actuality. Nowadays, the implementation of Information System of Project Management and the specialized soft on the construction sphere of Russia is actively proceeding. The actual challenge for companies – contractors is still keeping planned terms and costs of construction projects during their fulfillment.

The goal of the research is to elaborate the basis of forming scenarios of rescheduling construction projects, which allow reducing terms of the necessary corrections due to universality of such approach.

Methods of the research. The variety of methods was used in the research. As well as the method of systematization of the list of risks of construction projects, which influence on their terms and costs. Also the method of logic analysis while associating milestones and risks with the stages of fulfillment of construction projects. Besides, using and analytical grounding triggers, needed for starting rescheduling, analysis of uniformity of distribution of project's risks in time. Finally, the approach “costs – benefits” for grounding economic effectiveness of rescheduling and risk reduction.

Results of the research. The conceptual basis of forming scenarios of rescheduling construction projects is elaborated and their key aspects are formulated. The parameters and triggers for starting rescheduling scenarios are grounded. The possible and acceptable variants and measures of rescheduling construction projects are grounded. The rule for determining the economic effectiveness of rescheduling construction projects is formulated.

Scientific novelty. The binary milestones, as the appropriate transformation of project risks, are proposed. The notion of scenarios of rescheduling construction projects, related with methods of risks reduction, is formulated. The possible variants of rescheduling construction projects are analyzed. The rule of determining the economic effectiveness of rescheduling construction projects is proposed.

Keywords: construction projects, risks, reduction, management, terms, costs, rescheduling, scenarios.

Наши авторы

Баденко Владимир Львович	д.т.н., профессор Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
Байбусинова Ольга Ренатовна	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Бойченко Олег Валериевич	д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
Бондаренко Валерия-Анастасия Артемовна	студент, НИУ МГСУ, г. Москва
Бондаренко Владимир Леонидович	д.т.н., профессор, Донской ГАУ, г. Новочеркасск
Ванюшкин Александр Сергеевич	д.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», г. Симферополь
Галиева Гузель Маратовна	к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа
Гиясов Ботир Иминжонович	к.т.н., доцент НИУ МГСУ, г. Москва
Гришенок Таисия Вадимовна	ассистент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», г. Симферополь
Добринская Анастасия Андреевна	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Иванова Лана Эдуардовна	студент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа
Катеринин Константин Викторович	к.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Лейкина Диана Кононовна	к. арх., заместитель генерального директора - главный архитектор АО «ЦНИИПромзданий», профессор Международной Академии Архитектуры, г. Москва
Лептюхова Ольга Юрьевна	к.т.н., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва
Одинцов Александр Никитич	к.т.н., доц. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Остапенко Ирина Николаевна	к.э.н., доцент, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», г. Симферополь
Постникова Екатерина Андреевна	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Радченко Ольга Петровна	старший преподаватель, ВолГУ, г. Волгоград
Сандула Тимофей Андреевич	студент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Сергина Наталья Михайловна	д.т.н., доцент, ВолгГТУ, г. Волгоград
Симаков Владислав Сергеевич	аспирант, ВолгГТУ, г. Волгоград
Степаненко Константин Станиславович	студент группы ЭИИ-б-о-241, ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского», г. Симферополь
Теплых Светлана Юрьевна	д.т.н., доцент СамГТУ, г. Самара
Хецуриани Елгуджа Демурович	д.т.н., профессор, ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск; ДГТУ, г. Ростов-на-Дону
Чиркова Виктория Алексеевна	студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва
Шевцов Егор Игоревич	аспирант, ВолгГТУ, г. Волгоград
Шкильнюк Максим Александрович	старший преподаватель, Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Штавакер Мария Ивановна	аспирант, Донской ГАУ, г. Новочеркасск
Шуныко Артем Андреевич	студент, НИУ МГСУ, г. Москва

Журнал

ЭСиП № 3 (96) – 2025

ЭКОНОМИКА СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ