

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Донской государственный технический университет»

На правах рукописи



МАНЖИЛЕВСКАЯ СВЕТЛАНА ЕВГЕНЬЕВНА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ
ЗАСТРОЙКЕ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ МИНИМИЗАЦИИ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПЫЛЬЮ**

2.10.2 Экологическая безопасность

(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Маилян Дмитрий Рафаэлович

Ростов-на-Дону

2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	19
1.1 Актуальность снижения выбросов пыли в окружающую среду при точечной застройке городских территорий	19
1.2 Нормативы РФ и других стран, регламентирующие мировые нормативы запыленности воздушной среды городских территорий	21
1.2.1 Зарубежный опыт.....	21
1.2.2 Опыт Российской Федерации.....	24
1.3 Анализ источников пылевого загрязнения воздушной среды при точечном строительстве.....	26
1.4 Технические решения по снижению выбросов в атмосферу при точечном строительстве	29
1.4.1 В зарубежных странах.....	29
1.4.2 В Российской Федерации.....	35
1.5 Анализ программных продуктов и математических модулей расчёта загрязнения воздушной среды твердыми взвешенными частицами.....	36
1.5.1 За рубежом.....	36
1.5.2 В Российской Федерации.....	38
1.6 Анализ исследований дисперсного состава пыли как ее основной характеристики.....	41
1.7 Задачи, поставленные к решению и выбор направления исследования.....	45
1.8 Выводы по главе 1.....	47
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ИСТОЧНИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПЫЛИ ПРИ ТОЧЕЧНОМ	

СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ОСОБЕННОСТИ (ИЛИ ХАРАКТЕР) ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ТОЧЕЧНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	49
2.1 Натурные исследования общей концентрации взвешенных веществ в зоне влияния точечной застройки	49
2.2 Исследование дисперсного состава пыли, выделяющейся в атмосферу при точечном строительстве	57
2.3 Исследование закономерностей распределения пыли по высоте ...	70
2.4 Выводы по главе 2.....	74
ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ В АТМОСФЕРУ ПРИ ТОЧЕЧНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	76
3.1 Интегральная функция дисперсного состава пыли как случайная функция	76
3.2 Методы аппроксимации интегральной функции дисперсного состава.....	81
3.3 Выводы по главе 3.....	89
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЫЛЬЮ ВОЗДУХА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ТОЧЕЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	91
4.1 Технические мероприятия по защите от загрязнения пылью воздуха строительной площадки точечного строительства: сетки, ограждения, экраны.....	91
4.2 Увлажнение, туманообразование.....	97
4.3 Конструкции зелёных крыш.....	109
4.4 Выводы по главе 4.....	116
ГЛАВА 5 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	119
5.1 Подходы к оценке экологического ущерба при точечной застройке	119

5.2 Организация мониторинга и прогнозирования содержания мелкодисперсных частиц при различных видах строительных работ точечной застройки.....	123
5.3 Исследование возможности использования результатов анализа загрязнения воздушной среды при точечной застройке в сводных расчетах загрязнения атмосферного воздуха	134
5.4 Организация сбора и анализа данных о загрязнении воздушной среды при точечном строительстве и реконструкции объектов.....	139
5.5 Управление экологическими рисками на строительной площадке при точечной застройке	143
5.6 Совершенствование проектов организации строительства с учетом экологического фактора.....	150
5.7 Совершенствование экономических решений в части ПМООС и ПОС с учётом экологической безопасности при точечном строительстве.....	156
5.8 Выводы по главе 5.....	158
ГЛАВА 6 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	161
6.1 Разработка принципов мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне и на границе строительной площадки	161
6.2 Схемы реализации технических решений по снижению пылевого загрязнения воздушной среды при точечной застройке.....	167
6.3 Разработка паспорта пыли, образующейся при строительстве.....	170
6.4 Результаты испытаний разработанных автором технических средств для снижения пылевого загрязнения при точечном строительстве	172
6.5 Выводы по главе 6.....	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	179
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	182

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Сетевой график производства работ с учетом дополнительной информации о прогнозировании запыленности в зоне производства технологических строительных операций при точечной застройке	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Патенты на полезные модели	209
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акты о внедрении результатов диссертационной работы	213

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. В большинстве стран мира строительная отрасль является одним из основных источников загрязнения воздуха городских территорий. Одним из наиболее опасных загрязняющих веществ являются частицы мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀, образующиеся при строительных процессах. Экологическая безопасность строительства – это комплекс мероприятий, методов, нормативных документов, проектных решений управленческого, организационного, технологического и экономического характера, опирающийся на законодательные акты в области охраны окружающей среды, принципы ресурсо- и энергосбережения, природосбережения, позитивный человеческий опыт реальной строительной деятельности. Решение такой сложной, многокритериальной задачи в современных исследованиях базируется на системном подходе, который уже показал свои преимущества при решении различных задач, связанных с экологической безопасностью городских территорий. В настоящее время одним из наиболее распространённых видов застройки является точечная застройка. По пути точечной застройки идут крупнейшие города мира, выбирая ее в качестве приоритета пространственного развития. Аналитики отмечают отрицательное влияние точечной застройки на окружающую среду, в частности на атмосферу, но фундаментальных исследований в этом направлении не проводится.

В условиях роста объемов локального строительства и точечной застройки в стесненных городских условиях остро стоит вопрос создания и сохранения благоприятной экологической обстановки. Это требует исследований, проведения мониторинга выбросов пыли не только на период строительства, но и на различных этапах жизненного цикла объекта, в частности, на этапе проработки проектных решений по возведению объектов с учетом полученных ранее результатов.

Важность проведения подобных исследований подчеркивается реализацией федерального проекта «Чистый воздух» в России. Согласно утвержденному

президиумом Совета при Президенте РФ паспорту национального проекта «Экология» от 24.12.2018 года № 16, одним из ключевых показателей этого проекта является уменьшение объема выбросов вредных веществ в атмосферу на 22 % в наиболее загрязненных городах к 2025 году. В Российской Федерации осуществляется переход на применение отечественного оборудования за счет сокращения импорта согласно Постановлению Правительства РФ от 16 сентября 2016 г. N 925 «О приоритете товаров российского происхождения, работ, услуг, выполняемых, оказываемых российскими лицами, по отношению к товарам, происходящим из иностранного государства, работам, услугам, выполняемым, оказываемым иностранными лицами». Актуальные задачи создания современных, практичных, экономически, отечественных эффективных систем и технологий по борьбе с распространением пыли на территориях агломераций для включения их в перечень закупок в инвестиционно-строительных проектах.

В рамках национального проекта «Экологическое благополучие», утвержденному указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 на 2025 год, ставится задача сохранения и восстановления окружающей среды. Одним из ключевых направлений проекта является снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Этот факт определяет научную проблему исследования, которая заключается в несоответствии состояния экологической безопасности и уровня загрязнения атмосферного воздуха городских территорий при точечной застройке и нормативной моделью расчёта, принятой в научной и проектной практике, не отражающей комплексного характера обеспечения экологического благополучия. В этом контексте данная работа является особенно актуальной.

Степень разработанности темы. При подготовке к строительству, в процессе строительного производства, эксплуатации и ликвидации объектов застройки необходимо соблюдать требования экологической безопасности, охраны труда и рационального использования ресурсов. Важно контролировать выбросы пыли, чтобы минимизировать ее концентрацию и ее воздействие на здоровье человека.

При оценке качества атмосферного воздуха необходимо учитывать физико-химические и морфологические свойства пыли, ее токсичность и способность к адсорбции примесей. Для этого надо выявить и оценить общее содержание взвешенных веществ на строительной площадке для принятия мер по повышению экологической безопасности. Также следует разработать меры по регулированию выбросов пыли при строительстве с целью повышения безопасности.

Проблема сохранения окружающей среды и защиты человека от вредного воздействия строительства становится все более актуальной в связи с увеличивающимися масштабами точечного строительства и возрастающей оснащенностью строительства техническими средствами. Работы отечественных и зарубежных ученых Азарова В.Н., Бакаевой Н.В., Батаева Д.К.-С., Беспалова В. И., Богуславского Е.И., Боровкова Д.П., Ветровой Н.М., Гаспарьян Н.А., Головиной Е.И., Гуровой О.С., Данелянц Д.С., Желтобрюхова В.Ф., Калюжиной Е.А., Ковшова С.В., Кузьмичева А.А., Литвиновой Н.А., Ложкиной О.В., Lupinogina В.В., Магомадова И.З., Май И.В., Мензелинцевой Н.В., Новиковой В.С., Оводкова М.В., Панкова А.А., Савиновой А.М., Сергиной Н.М., Сысоевой Е.В., Тertiшникова И.В., Трохимчук К.А., Тунаковой Ю.А., Уляшевой Е.Т., Фукса Н.А., Шагидуллина А.Р, M. Ishizuka, M. Mikami, J. Leys, Huan Jing KeXue, Weinan Chen, L.I. Xiaolan, Hyun-jun Noh, Nitzan Swet, Tov Elperin, Jasper F. Kok, Raleigh L. Martin, Sarkar A., Sun W.-Y., Sisara Samaradiwakara, Erich M. Courtright, Brandon L. Edwards, Rende Wang, Qing Li, Na Zhou, Chunping Chang, Yaping Shao, Saeed Abolhasani, H. Christopher Frey, Kangwook Kim, Zachary M. Klaver , Shih-Hao Pang и многих других посвящены исследованию запыленности воздуха и оценки ее влияния на экологическую безопасность. Комплексная экологическая оценка воздействия точечной застройки на состояние атмосферного воздуха с проведением долгосрочного экологического мониторинга, определение объемов выделяемых загрязняющих веществ, работ по рациональной организации и управлению строительными процессами на площадке и внедрению организационно-технологических мероприятий в строительный процесс с целью снижения уровня выбросов ранее не выполненных. Это требует систематизации полученных ранее

данных, долгосрочного анализа, оценки и контроля содержащихся в атмосфере взвешенных веществ при точечном, локальном строительстве.

В настоящей работе теоретически и экспериментально обоснованы основные принципы и технические, социальные, эколого-экономические, управленческие методы экологической защиты городской территории от вредного воздействия мелкодисперсной пыли в процессе реализации точечной застройки, работ по реконструкции зданий и сооружений, проведены расчетная и экспериментальная оценка их воздействия на окружающую среду, здоровье рабочих строительной площадки и населения, проживающего вблизи точечного строительства.

Цель работы – разработка научных основ и методологии формирования системы экологической безопасности при точечной застройке с учетом особенностей строительства на различных этапах строительных и ремонтных работ для минимизации загрязнения атмосферного воздуха, в том числе мелкодисперсной пылью.

Объект исследования – строительные площадки, как источник загрязнения пылью воздушной среды прилегающих территорий при точечной застройке.

Предмет исследования – показатели качества воздушной среды на строительной площадке точечной застройки и прилегающей к ней территории.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ предыдущих исследований отечественных и зарубежных ученых, проводимых с целью изучения выбросов пыли при строительстве, в том числе выбросов с содержанием частиц PM10 и PM2,5.

2. Провести анализ строительных работ как источников пылевыведения при точечной застройке, провести их классификацию. Провести экспериментальные и натурные исследования валовых и максимально разовых выбросов пыли от строительных процессов при точечной застройке как источников пылевыведения. Провести натурные исследования на реальных объектах точечной застройки с целью оценки запыленности воздушной среды на строительной площадке в зоне влияния источников пыления.

3. Исследовать дисперсный анализ пыли в рабочих зонах на стройплощадке, в том числе на различных высотах. На основании исследования дисперсного состава микроскопическим методом и прямых измерений получить функции прохода в диапазоне частиц $PM_{0,5}$ - PM_{10} .

4. Провести теоретическое и экспериментальное исследование параметров пыли в выбросах в атмосферу при точечном строительстве. Исследовать эффективность различных теоретических моделей для построения интегральных функций распределения по эквивалентным диаметрам частиц на базе интегральной функции прохода для оценки зависимости пылевого загрязнения в воздухе строительной площадки и в воздухе близлежащей территории. Выполнить статистическую обработку данных с применением критериев согласия Пирсона и Колмогорова.

5. Провести экспериментальные и натурные исследования для каждого технологического строительного процесса с целью построения дифференциальных функций распределения значений функций прохода при фиксированных диаметров частиц $d_{\text{ч}}$. Доказать, что интегральные функции распределения частиц по эквивалентному диаметру пыли в воздухе строительной площадки и близлежащие территории характеризуются как два зависимых друг от друга случайных процесса.

6. Разработать технические решения по защите воздушной среды близлежащих территорий от пылевого загрязнения от строительной площадки. Определить взаимосвязь концентраций частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ на стройплощадке и на близлежащей территории как случайных величин.

7. Разработать принципы мониторинга концентрации пыли, в том числе частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} воздушной среды в жилой зоне вблизи точечной застройки с учетом параметров пылевыведения каждого строительного процесса в зависимости от параметров воздушной среды на строительной площадке. Исследовать возможность внедрения в систему прогнозирования алгоритмов и моделей машинного обучения для повышения эффективности прогнозируемых данных о запыленности воздушной среды.

8. Разработать метод организационно-технологического проектирования для проектной документации с целью строительства или реконструкции объектов точечной застройки, включающий экологический критерий, в результате которого появиться возможность уже на стадии проектировать рассчитывать максимально разовый и валовый пылевые выбросы в воздушную среду на строительной площадке. Усовершенствовать метод контроля, прогнозирования и мониторинга запыленности воздушной среды на стройплощадке и близлежащей территории.

9. Разработать систему индикаторов для экологического риск-анализа влияния частиц PM_{2,5} и PM₁₀ на городскую территорию от точечной застройки.

10. Исследовать возможность использования полученных результатов в сводных расчетах загрязнения атмосферного воздуха с учетом выбросов пыли от источников строительного производства – объекта точечной застройки.

11. Апробировать полученные результаты в производственных условиях и оценить соответствие предложенных решений критериям отнесения к наилучшим доступным технологиям в сфере защиты атмосферного воздуха от загрязнения.

12. Выполнить расчет социально-экономического предотвращенного экологического вреда благодаря внедрению разработанных технических решений по защите близлежащие территории за счет сокращения выбросов пыли от строительства.

Научная новизна состоит в том, что:

- разработаны основополагающие принципы формирования системы экологической безопасности воздушной среды вблизи точечной застройки с учетом особенностей жизненного цикла и критерия минимизации загрязнения атмосферного воздуха;

- определена интенсивность пылевыведения от технологических процессов точечной застройки и предложена классификация этих источников, что позволяет теоретически рассчитать выбросы от различных строительных процессов;

- получены интегральные функции распределения частиц мелкодисперсной пыли с размерами от PM_{2,5} до PM₁₀, поступающим в атмосферу при ведении

отдельных видов строительных и ремонтно-строительных работ, проведена аппроксимация данных функций;

- усовершенствована динамическая сетевая модель производства строительных работ при точечной застройке за счет учета в сетевом графике пылевыделений технологических строительных процессов и учета прогнозирования концентраций пыли в воздухе близлежащей жилой зоне и использование технических средств по ее снижению;

- экспериментальным путем получены дифференциальные функции распределения значений функций прохода при фиксированных диаметрах частиц d_{ϕ} , что позволило рассматривать интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам и интегральную концентрацию, характеризующую массовую долю частиц с меньшим диаметром, как случайные процессы;

- усовершенствована система организации мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне при точечной застройке в зависимости от параметров воздушной среды на строительной площадке с использованием алгоритмов машинного обучения XGBoost, Random Forest (RF) и ARIMA.

Научная гипотеза заключается в том, что предложенный научный подход к снижению выбросов пыли при строительстве жилой точечной застройки за счет создания комплексной системы с внедрением защитных организационно-технологических решений, управленческих методов по определению эколого-экономических рисков и программ мониторинга с авторскими новыми технологиями прогнозирования выбросов пыли на строительной площадке точечной жилой застройки с помощью математических моделей машинного обучения позволит достичь реализации проектов точечной застройки на территории городских агломераций не нанося экологический вред территории и населению, проживающему вблизи территорий строительства.

Личный вклад автора состоит в: формулировании темы, цели и задач диссертационного исследования; отборе и анализе материалов, изложенных в научно-технических источниках; выполнении теоретических исследований; планировании, проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе

их результатов; апробации предлагаемых решений. Диссертация базируется на результатах исследований, выполненных в течение 2013 – 2025 гг. лично автором.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- проведен анализ технологических процессов при строительстве как источников пылевыведения, который позволяет провести их квалификацию;
- проведены экспериментальные исследования валовых и максимально разовых выбросов от технологических строительных процессов как источников пылевыведения;
- проведены натурные исследования запыленности воздушной среды на строительной площадке в зоне влияния источников пыления (технологические строительные процессы);
- проведены натурные исследования запыленности воздушной среды близлежащие территории при точечной застройке. Для технологических процессов строительства был определен дисперсный состав пыли в рабочих зонах на стройплощадке в том числе на различной высоте. На основании исследования дисперсного состава микроскопическим методом и прямых измерений получены функции прохода в диапазоне частиц $PM_{0,5}$ - PM_{10} ;
- проведен анализ существующих моделей построения интегральных функций распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам для оценки частиц $PM_{2,5}$ - PM_{10} в воздухе на строительной площадке и в воздухе близлежащей территории, лучше всего подходят трехзвенные модели (прямая+парабола+гипербола). Проверка проводилась на основании критерий согласия Пирсона и Колмогорова;
- проведены экспериментальные и натурные исследования для каждого технологического строительного процесса с целью построения дифференциальных функций распределения значений функций прохода при фиксированных диаметров частиц d_v и рассмотрены интегральные функции распределения как случайный процесс. Аналогично как случайный процесс можно рассматривать интегральную концентрацию пыли;

- исследованы концентрации общая, частиц PM10, частиц PM2,5 при применении разработанных автором технических решений: пылезащитный экран, пушка пылеулавливания, конструкций зеленых крыш, которые показали их достаточно высокую эффективность. Для оценки мероприятий по защите воздушной среды близлежащих территорий следует учитывать взаимосвязь концентраций частиц PM10 и PM2,5 на стройплощадке и на близлежащей территории;

- разработана ансамблевая модель с использованием алгоритмов машинного обучения XGBoost, Random Forest (RF) и ARIMA для прогнозирования запыленности атмосферного воздуха жилой зоны в зависимости от климатических факторов и технологических строительных процессов;

- усовершенствован сетевой график производства работ с учетом дополнительной информации о прогнозировании запыленности в зоне производства технологических строительных операций при точечной застройке, на основании которого сформирован ГИС слой в программе ArcGIS Online для прогнозирования запыленности на стройплощадке;

- предложена система индикаторов для экологического риск-анализа влияния частиц PM2,5 и PM10 на городскую территорию от точечной застройки;

- выполнен расчет социально-экономического предотвращенного экологического вреда благодаря внедрению разработанных технических решений по защите близлежащие территории за счет сокращения выбросов пыли от строительства;

- усовершенствованы программы мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне при точечной застройке за счет учета климатических условий и выбора контрольных точек проведения замеров;

- полученные автором результаты апробированы в производственных условиях. Результаты диссертационного исследования внедрены в ОАО РЖД СТРОЙ г. Москва, ОА институт «Ростовский Промстройинипроект» г. Ростов-на-Дону, ООО «ИБТ» г. Москва, ООО «Альфа Инжиниринг», г. Ростов-на-Дону, ООО «Р-Строй» г. Ростов-на-Дону, ИП Акопян В.Ф. г. Ростов-на-Дону. Разработанные

новые научно-обоснованные технические решения по сокращению выбросов пыли на строительной площадке относятся к современным отечественным разработкам по защите атмосферного воздуха от загрязнения пылью, что дает возможность беспрепятственного процесса их внедрения в практическую деятельность предприятий и организаций;

- предложены методы учета выбросов пыли от источников строительного производства при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха ФГБУ «ВНИИ Экология» в городах в рамках федерального проекта «Чистый воздух» нацпроекта «Экология».

Методология и методы диссертационного исследования: проведение экспериментальных исследований в лабораторных и опытно-промышленных условиях с использованием современного поверенного оборудования; математическое и физическое моделирование; обобщение известных научно-технических результатов; сопоставление данных других авторов с результатами проведенных экспериментов; использование методик и планирования экспериментов, утвержденных межгосударственными и национальными стандартами РФ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Положение о проведении анализа технологических строительных процессов как источников пылевыведения. Проведены экспериментальные и натурные исследования валовых и максимально разовых выбросов пыли от технологических строительных процессов как источников пылевыведения. Проведены натурные исследования на реальных объектах точечной застройки с целью оценки запыленности воздушной среды на строительной площадке в зоне влияния источников пыления (технологических строительных процессов).

2. Положение о проведенном исследовании анализа дисперсного состава пыли в рабочих зонах на стройплощадке, в том числе на различных высотах. Исследован дисперсный состав пыли и получены функции прохода в диапазоне частиц PM_{0,5}-PM₁₀.

3. Положение о проведенных теоретическом и экспериментальном исследованиях параметров пыли в выбросах в атмосферу при точечном строительстве. Исследована эффективность различных теоретических моделей для построения интегральных функций распределения по эквивалентным диаметрам частиц на базе интегральной функции прохода для оценки зависимости пылевого загрязнения в воздухе строительной площадки и в воздухе близлежащей территории. Проведена статистическая обработка данных с применением критериев согласия Пирсона и Колмогорова.

4. Положение о проведенных экспериментальных и натурных исследованиях для каждого технологического строительного процесса с целью построения дифференциальных функций распределения значений функций прохода при фиксированных диаметров частиц d_q . Доказано, что интегральные функции распределения частиц по эквивалентному диаметру пыли в воздухе строительной площадки и близлежащие территории характеризуются как два случайных зависимых друг от друга процесса.

5. Положение о разработке новых технических решений по защите воздушной среды близлежащих территорий от пылевого загрязнения строительной площадки: пылезащитный экран (патент №192629) пушка пылеподавления (патент №197551), две конструкции зеленых крыш для общественных зданий (патент №163334) и жилых домов (патент № 191863). Доказана эффективность разработанных решений.

6. Положение о разработке принципов мониторинга качества атмосферного воздуха в жилых зонах вблизи точечной застройки в зависимости от параметров воздушной среды на строительной площадке. Исследована возможность внедрения в систему прогнозирования алгоритмов и моделей машинного обучения для повышения эффективности прогнозируемых данных о запыленности воздушной среды.

7. Положение о разработке метода организационно-технологического проектирования для проектной документации с целью строительства или реконструкции объектов точечной застройки, включающий экологический

критерий – сетевой график производства работ с учетом дополнительной информации о прогнозировании запыленности в зоне производства технологических строительных операций при точечной застройке. Усовершенствован метод контроля, прогнозирования и мониторинга запыленности воздушной среды на стройплощадке и близлежащей территории.

8. Положение о разработке системы индикаторов для экологического риск-анализа влияния частиц PM_{2,5} и PM₁₀ от точечной застройки на воздушную среду городской территории от точечной застройки.

9. Положение об апробации полученных результатов в производственных условиях и оценке соответствия предложенных решений критериям отнесения к наилучшим доступным технологиям в сфере защиты атмосферного воздуха от загрязнения.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована применением классических положений теории распределения массы частиц, использованием современных методик исследования, сходимостью аналитических и экспериментальных результатов (относительная погрешность не более $\pm 10\%$ при доверительной вероятности 0,95 и получением прогнозируемого эффекта в практическом использовании.

Апробация результатов. Результаты диссертационных исследований докладывались и получили одобрение на: Актуальные проблемы науки и техники ДГТУ (г. Ростов-на-Дону, 19-21 марта 2024 г.; г. Ростов-на-Дону, 19-21 марта 2024 г.); Международная научно-практическая конференция факультета промышленного и гражданского строительства ДГТУ «Строительство и архитектура» (г. Ростов-на-Дону, 19-23 апреля 2021 г.; г. Ростов-на-Дону, 19-21 апреля 2022 г.; г. Ростов-на-Дону, 19-21 апреля 2023 г.; г. Ростов-на-Дону, 17-19 апреля 2024 г.); «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности» (г. Волгоград, 24-29 апреля 2023 г.); «Актуальные проблемы моделирования, проектирования и прогнозирования социальных и политических процессов в мультикультуральном пространстве современного общества» (г. Ростов-на-Дону, 06-07 апреля 2023 г.); «Обеспечение безопасности:

производственной, пожарной, экологической» (г. Ростов-на-Дону, 12-13 декабря 2023 г.); 7-й Международная научная конференция перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых - будущее России». Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды (г. Курск, 12 декабря 2022 г.); XIV Международная научно-практической конференция «Экспертиза и управление недвижимостью: информационное моделирование, энергосбережение, зеленые технологии» (г. Ростов-на-Дону, 14 октября 2022 г.); CATPID-2020, г. Казань, 26-30 сентября 2020 г.); XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021», г. Ростов-на-Дону, 24-26 февраля 2021 г.; Инновационные технологии в науке и образовании («ИТНО 2020», г. Ростов-на-Дону, 19-30 августа 2020 г.); Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019, с. Дивноморское, Краснодарский край, 9-14 сентября 2019 г.); International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development» (CATPID-2019, г. Кисловодск, 1-5 октября 2019 г.; EMMFT 2019, г. Воронеж, 28-30 ноября 2019 г.); International Scientific-Practical Conference on Business Cooperation (ISPCBS, г. Псков, 21-23 мая 2019 г.); XXVII R-S-P Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering» (TFoCE, г. Ростов-на-Дону, 17-21 сентября 2018 г.); International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT 2018, г. Воронеж, 10-13 декабря 2018 г.

Публикации. Основные результаты, полученные в результате исследований по теме диссертационной работы, изложены в 85 печатных работах, в том числе: 14 статей, индексируемых в Международных базах данных Scopus и Web of Science, 18 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 4 патента РФ, 1 монография.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 196 наименований, 3 приложения, содержит 227 страниц текста, в том числе 82 рисунка, 27 таблиц и 31 формула, 3 приложения.

ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Актуальность снижения выбросов пыли в окружающую среду при точечной застройке городских территорий

Взвешенные частицы представляют серьезную угрозу для здоровья человека, попадая в организм в основном через дыхательную систему. Дыхательная система подвергается риску, так как 50 % частиц в диапазоне 0,01-0,1 микрона оседают в легких [4, 78, 138, 150]. Наиболее ядовитыми веществами, переносимыми с частицами пыли можно считать оксид серы (SO₂) и окись углерода (CO) [132, 148].

Взвешенные частицы — это твёрдые и жидкие вещества малого размера, которые содержатся в воздухе в виде аэрозоля. Их токсичность определяют не только химическим составом, но и размерами. Установлено, что в районах с высокой концентрацией взвешенных частиц растёт распространённость бронхолёгочных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний:

- частицы диаметром менее 10 мкм (PM₁₀) способны проникать по бронхиальному дереву и накапливаться в тканях лёгких;
- частицы диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2,5}) достигают бронхиол и альвеол;
- наночастицы диаметром менее 0,1 мкм (PM_{0,1}) проникают в кровоток.

По данным ВОЗ, нет порогового уровня, за которым взвешенные частицы больше не представляют опасности для здоровья [32, 129, 149, 189]. Одним из наиболее опасных загрязняющих веществ являются частицы мелкодисперсной пыли (particle matter, далее PM) PM_{2,5} и PM₁₀, образующиеся при строительстве [26, 27, 121, 126, 130, 140, 144, 153, 171, 181, 192, 195, 196].

Опасность для здоровья из-за разнообразных факторов, включая продолжительность воздействия, взаимодействие с другими загрязняющими веществами, климатические и метеорологические факторы, но лабораторное

моделирование реальных условий воздействия на сегодняшний день затруднительно для реализации [184, 186].

Исследователи полагаются на анализ статических данных, таких как увеличение числа госпитализаций, посещений клиник и смертности, которые указывают на связь между концентрацией твердых частиц и заболеваниями дыхательных путей и сердца [134, 178]. До настоящего времени многие исследователи основу своих выводов определяли по таким показателям, как увеличение числа госпитализаций, посещений клиник и смертности, которые указывают на связь между концентрацией твердых частиц и заболеваниями дыхательных путей и сердца [134, 178].

В мировой практике исследование выбросов пыли имеет большой опыт [3, 27, 94, 110, 122, 126, 128, 131, 133, 135, 142, 144-146, 151, 163-165, 167-170, 175, 176, 181-183]. Например, в 2005 году ряд объединений ученых из Европейских стран, таких как Германия, Финляндия, Нидерланды, на основе анализа главных компонентов (principal component analysis, PCA) и методом множественной линейной регрессии выявили шесть категорий источников PM_{2,5}: транспортная инфраструктура – 30%, строительное производство – 34%, эрозия почвы – 7%, промышленность – 20%, морская соль – 2%, не идентифицированная доля пыли PM_{2.5} – 7%. В среднем данные пропорции наблюдались во всех исследуемых городах Центральной Европы в зависимости от географических и метеорологических условий [140, 141, 143, 159].

Строительная отрасль считается одним из значительных пользователей окружающей среды. На её долю приходится около 20-50% потребления природных ресурсов, 50% выбросов углекислого газа и 50% общего объема твердых отходов во всем мире [163, 193]. По данным доклада Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) на 2021-2030гг., на строительные работы приходится 20% глобальных выбросов CO₂ в 2020 г., связанных со строительством [189].

В большинстве стран мира строительная отрасль является одним из основных источников загрязнения воздуха городских территорий и агломераций. Выбросы пыли при строительстве, являются источниками заболеваемости дыхательных

путей, согласно многим исследованиям [138, 158, 179, 181, 184, 187]. Например, по результатам в Южной Корее суммарный объем выбросов пыли частиц PM10 и PM2,5 от источников, связанных со строительным производством, достигают 109932 т/год и 16194 т/год соответственно, что составляет 50.2% и 7.3% от общего объема выделяемых выбросов пыли PM10 и PM2,5 в стране [155].

В связи со спецификой строительства, большинству рабочих на строительной площадке приходится работать в непосредственном контакте с источниками выбросов пыли. При этом при точечной застройке строительная пыль доставляет неудобства не только рабочим, но и оказывает неблагоприятное внешнее воздействие на население, ввиду близкого расположения источников пылевыведений к жилой застройке и жилым зонам [185, 187, 191, 196]. Так, по результатам исследований автора в жилой зоне вблизи точечной застройки запыленность воздушной среды зачастую превышала 2ПДК [127]. Меры по защите от пыли населения при точечной застройке могут занять весь цикл строительно-монтажных работ, и чтобы показать их эффективность, необходимы правильная организация и экологический контроль [69, 88, 97, 115]. При этом следует отметить тематике запыленности воздушной окружающей среды при точечной застройке посвящено малое количество работ.

1.2 Нормативы РФ и других стран, регламентирующие мировые нормативы запыленности воздушной среды городских территорий

1.2.1 Зарубежный опыт

В основе нормативов запыленности городской воздушной среды баланс экологических и экономических интересов, соблюдение которого создаст оптимальный уровень безопасности для окружающей среды и здоровья населения.

Разработка нормативного регулирования пределов воздействия пылевого загрязнения основана на определенных факторах:

1. Объект защиты (рабочий, городское население, флора, фауна, почва).
2. Среда, где нормируется содержание взвешенного вещества (городская территория, помещение и т.д.).
3. Критерий вредности (заболеваемость, патологии).
4. Временные характеристики воздействия (постоянное, временное).

Во многих странах мира выбор политики по снижению выбросов пыли, в том числе от строительного производства различен [143, 149, 151, 153-155, 174, 176, 178, 179, 184, 187, 191, 193]. Внедрение тех или иных мер поддержки и ограничений зависит зачастую от сложившейся социально-экономической и политической ситуации в каждой конкретной стране. Критерии формулируемых стандартов и нормативов варьируются в зависимости от географии региона, состояния серьезности экологической ситуации на конкретной территории и экологической осведомленности заинтересованных сторон. Строительным компаниям в развитых странах, таких как Великобритания, Соединенные Штаты Америки, рекомендуют разработанные экологические мероприятия, которые включают в себя планы, организацию, контроль, мониторинг, проверку, индивидуальные меры защиты рабочих и населения [160-162]. Точно так же государственные структуры, например в Китае, могут использовать законодательные мероприятия, чтобы запретить подрядчикам выбросы пыли на строительных площадках [192]. К таким мерам могут быть отнесены повышенное налогообложение, требования к уровню квалификации рабочих и инженеров, ответственных за экологическую безопасность в инвестиционно-строительном проекте [160]. Основным контролирующим органом здесь является Администрация стандартизации Китайской Народной Республики (SAC), обеспечивающая единое управление, надзор и координацию по стандартизации в КНР [160]. Например, существует система национальных (GB), профессиональных (JB, HJ), местных (в провинциях) (DB) стандартов по контролю пылевых выброс в строительном производстве,

некоторые из них представлены в таблице 1.1 [160]. Они дают четкие указания по контролю, оценки, мониторингу пылевого загрязнения на строительной площадке. Таблица 1.1 – Стандарты, регулирующие выбросы пыли в строительном производстве в КНР

№ п/п	Наименование стандарта	Область применения
1	JB / T 13562-2018	Стандарт устанавливает термины и определения, классификацию и наименования, требования, методы испытаний, правила контроля, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение устройств для уменьшения запыленности аэрозольных распылителей с подачей воздуха.
2	HJ/T 393-2007	Стандарт определяет основные принципы и основные инициативы по предотвращению и ликвидации различных видов пылевого загрязнения, методы отбора проб дорожной пыли и стандарт предельной нагрузки.
3	HJ 8.3-2023	Стандарт устанавливает основные требования к управлению экологической безопасностью строительного производства, формирует основное содержание документов и материалов по экологическому управлению строительного проекта.
4	HJ 2.1-2016	Стандарт устанавливает принципы, положения, процедуры и содержание оценки воздействия строительного производства в составе инвестиционно-строительного проекта на атмосферу

Применение тех или иных стандартов зависит от провинции, где располагается площадка строительства. [160].

Опыт нормирования выбросов пыли от строительного производства в Великобритании и Соединенных Штатах Америки показывает, что здесь данный процесс передан в частные компании, объединения проектировщиков [153]. Например, в США – это Институт строительных спецификаций (Construction Specifications Institute, CSI), в Великобритании – Национальная строительная спецификация (National Building Specification Limited – NBS) [180]. Работа данных организаций заключается в разработке технических спецификаций, которые устанавливают требования и рекомендации в проектировании и реализации строительного производства. В основном технические спецификации представлены техническими условиями, техническими заданиями, руководствами защиты от пыли на строительной площадке. Разрабатываются спецификации на основе типовых стандартов. Например, в Великобритании решения по защите от

пыли с пылевыми выбросами от строительных работ представлены в положении под названием Raising the Bar 18: Control of Dust [194]. Он требует от подрядчиков выполнения устранения опасности для здоровья и негативного воздействия на окружающую среду в результате деятельности, приводящей к образованию пыли.

С 24 ноября 2010 года в странах ЕС действует Директива 2010/75/ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнения [20]. Директива устанавливает предельные значения концентрации загрязняющих веществ, включая мелкодисперсную пыль PM_{2,5} и PM₁₀, а также правила предотвращения, сокращения и, насколько это возможно, контроля загрязнения воздуха.

1.2.2 Опыт Российской Федерации

Рассматривая опыт нормативного регулирования выбросов пыли в Российской Федерации необходимо отметить, что законодательное регулирование охраны окружающей среды уже отражено в Конституции Российской Федерации [29]. Помимо этого основного документа в Российской Федерации действуют руководящие нормативные документы, регламентирующие защиту окружающей среды в строительном секторе экономики [9, 10, 13-15, 17-19, 25, 89, 93, 94 95-102, 112, 114, 125].

Были установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе [9]. Для каждого компонента атмосферного воздуха установлены два норматива. Максимально разовая ПДК устанавливается для предотвращения рефлекторных реакций людей (например, запаха, изменения биоэлектрической активности мозга) после кратковременного (менее 30 минут) воздействия вредного вещества, среднесуточная ПДК – для предотвращения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и иного воздействия вредных веществ.

Для защиты атмосферы применяются нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников загрязнения [17, 18]. ПДВ устанавливают для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от этого источника и от всех источников загрязнения в городе или населенном пункте не приводят к превышению приземных концентраций над показателями ПДК.

Таким образом, важнейшим параметром разрешения на выброс является норматив ПДВ. Он представляет собой величину, выражающую предельное количество загрязняющего вещества, которое разрешается выбрасывать в атмосферный воздух в единицу времени из данного источника выброса [23, 24].

Нормативы выбросов пыли при строительстве в городской воздушной среде, должно учитывать ряд особенностей характерных для точечного строительства [22, 23]:

1. Наличие жилой и общественно-деловых зон или других селитебных территорий, прилегающих к строительной площадке.
2. Коэффициент застройки земельного участка, стесненность условий строительства.
3. Планирование реализации строительных процессов с учетом климатических и метеорологических факторов, что требует отражение в проектах организации строительства и реконструкции.
4. Расширение и уточнение списка строительных процессов, вызывающих пылевыведение.
5. Организация строительной площадки с сокращением рисков появления выбросов пыли.
6. Уточнение обязательных природоохранных мероприятий при реализации точечного строительства.
7. Ряд ограничительных мероприятий, например, запрещение расположение растворного узла на строительной площадке и обязательных мероприятий, как защитные экраны, оборудование для туманообразования.

Технические нормативы для стационарных, передвижных и иных источников выбросов устанавливаются на основе использования наилучших доступных технологий с учетом экономических и социальных факторов [93].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) еще в 2021 году утвердила нормативы содержания частиц мелкодисперсной пыли в воздушной среде городских территорий, данные значения представлены в таблице 1.2 [193].

Таблица 1.2 – Нормативы содержания частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в воздухе

Наименование вещества	Средние значения за год, мкг/м ³	Средние значения за сутки, мкг/м ³
PM ₁₀	50	20
PM _{2,5}	25	10

В настоящее время в Российской Федерации действуют нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов и сельской местности, СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает ПДК для загрязняющих веществ в мг/м³. Таким образом для частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ - следующие нормативные значения, представленные в таблице 1.3, норматив ПДК для частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в рабочей зоне не устанавливается [9].

Таблица 1.3 – Нормативные значения ПДК для PM_{2,5} и PM₁₀

Наименование вещества	ПДК м.р., мг/м ³	ПДК ср.с., мг/м ³	ПДК ср.г., мг/м ³
PM ₁₀	0,3	0,06	0,04
PM _{2,5}	0,16	0,035	0,025

1.3 Анализ источников пылевого загрязнения воздушной среды при точечном строительстве

На сегодняшний день отрасль строительства критикуется за тот факт, что является одним из крупнейших источников выделения пыли за счет производства работ [188, 190]. Многие строительные процессы, такие как земляные,

штукатурные, бетонные работы, работы по погрузке и разгрузке, транспортировке строительных материалов, приготовление раствора и каменно-монтажные работы способствуют выделению пылевых выброс частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} – PM₁₀ воздушную среду городских территорий [94, 121, 122, 128, 134-136, 139, 145].

На сегодняшний день отрасль строительства (земляные, штукатурные, бетонные, погрузка и разгрузке, транспортировка строительных материалов, приготовление раствора и каменно-монтажные) признаны крупнейшими источниками выделения пыли, частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} – PM₁₀ в воздушную среду городских территорий [94, 121, 122, 128, 134-136, 139, 145, 188, 190].].

Состояния окружающей среды за счет пылевого загрязнения атмосферного воздуха городской среды уделено большое внимание на отечественном [1-4, 8, 13, 26, 29, 33, 35, 36, 41, 42, 49-55, 121-126, 166-173] и международном [137, 138, 144, 147, 153, 154-158, 161-163, 177, 187, 190-195] научном уровнях. Загрязнение пылью оказывают влияние на все этапы жизненного цикла здания, от начала работ на строительной площадке до завершения, эксплуатации и сноса. Несмотря на то, что этап реализации производства работ длится недолго по сравнению с другими частями жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, он оказывает ряд значительных воздействий на окружающую среду [28, 30, 86, 90].

На стройплощадках точечного строительства здоровье работников и населения близлежащих жилых зон подвергается опасности из-за двух ключевых источников загрязнения воздуха пылью: деятельность, связанная с эксплуатацией строительных машин и оборудования и строительные процессы. Важно учитывать фоновую концентрацию пыли в воздухе на данной территории.

В большинстве случаев использование строительной техники, необходимой для выполнения работ способствует выбросам в атмосферу, пылевое загрязнение от нее можно рассчитать следующим образом [70]:

$$ПВ = \frac{M}{OP} * PP_i * K_i \quad (1.1)$$

где $PВ$ – выбросы пыли от различных видов строительных процессов, кг; M – производительность, ед.; OP – объем работы реализуемый строительной техникой за час, ед/час; i – тип ресурса, потребляемый строительной техникой, например дизельное топливо или электроэнергия; PP – энергопотребление, расход ресурсов строительной техникой в час с учетом вида ресурса, литр/час или кВт/час; K_i – коэффициент выбросов пыли для конкретного вида энергии, кг/л или кг/кВт. В расчетах принимается для дизельного топлива $K_i = 7.2 \times 10^{-5}$ кг/л, для электроэнергии $K_i = 1.08 \times 10^{-4}$ кг/кВтч [70].

Наиболее пылящие механизированные процессы представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Источники выбросов пыли при строительстве [70]

Виды работ	Строительная техника	Строительные процессы
Подготовит. работы	Автокран	Установка строительных бытовок
		Устройство башенного крана
	Бульдозер	Срезка грунта
		Перемещение грунта
Земляные работы	Экскаватор типа «обратная лопата»	Разработка грунта
		Обратная засыпка
	Уплотнитель грунта	Уплотнение грунта
	Пневмат. отб. молоток	Рыхление грунта
	Каток	Уплотнения грунта
Железобетон. работы	Автобетононасос	Укладка бетонной смеси
	Башенный кран	Подача арматуры
Арматурные и стальные работы	Башенный кран	Установка армокаркаса
		Установка водостоков и решетчатых настилов
Работы по монтажу каркаса	Автобетононасос	Укладка бетонной смеси
	Автокран	Устройство каркаса
	Бульдозер	Укладка щебня
Каменно-монтажные работы	Растворомешалка	Приготовление раствора
	Растворонасос	Подача раствора
	Резат. комплекс для блоков	Резка газоблоков
		Резка кирпича
Работы по благоустройству	Уплотнитель грунта	Уплотнение грунта
	Каток	Укладка асфальта
Демонтажные работы	Пневмат. отб. молоток	Демонтаж бетона
	Бульдозер	Уборка отходов

Для точечного строительства необходимо разграничивать источники пылевого загрязнения на низкие (наземные) и высокие. Наземными источниками выбросов пыли считаются те, от которых взвешенные вещества распространяются

стекающимися потоками над земной поверхностью. Устья источника H_{ep} такого рода определяют в зависимости от параметров объектов [14]:

- для узкого отдельно стоящего здания:

$$H_{ep} = 0,36v_{зд} + 2,5H_{зд}, \quad (1.2)$$

- для широкого отдельно стоящего здания:

$$H_{ep} = 0,36v_{зд} + 1,7H_{зд}, \quad (1.3)$$

- для группы зданий:

$$H_{ep} = 0,36(v_{зд} + x_1) + H_{зд}, \quad (1.4)$$

где $v_{зд}$ – расстояние от источника, расположенного в пределах крыши, до заветренной стены здания, м; $H_{зд}$ – высота здания; x_1 – расстояние между зданиями, м [14]. Высокие источники создают выбросы пыли на высоте, превышающие высоту здания, но не загрязняют циркуляционные зоны над зданием и за ним. При расчётах загрязнения воздуха на строительных площадках и прилегающих к ним территориях источники вредных веществ следует подразделять на точечные, линейные и площадные. Например, к точечным источникам можно отнести выгрузку грунта, резку кирпича или газоблоков и открытые окна при ремонтных и демонтажных работах, к линейным – отвал грунта при разработке траншеи, к площадным – площадка со щебнем под бетонное основание и прочие.

1.4 Технические решения по снижению выбросов в атмосферу при точечном строительстве

1.4.1 В зарубежных странах

В городе и населенных пунктах с растущим числом объектов точечной застройки поддержание оптимального экологического состояния, особенно

снижение загрязнения воздуха городской среды частицами PM_{2,5} и PM₁₀, является важной задачей, что требует разработки проектных технических решений на строительной площадке.

Выбор оптимальных решений и их обоснование возможно с применением современных сквозных технологий, искусственного интеллекта (метод роя частиц [73], методы машинного обучения [59], алгоритмы и модели нейронных сетей, авторегрессии) [39, 65] а также статистические методы обработки данных [76]. Например, вводятся данные о концентрации, метеорологических условиях характерных на территории, где расположена строительная площадка. Также, на сегодняшний день, основным инструментом, обуславливающим выбор конкретных решений, является экологический мониторинг территории, где располагается строительная площадка [24, 38, 43, 51, 56, 130, 133, 155, 166].

Система наблюдений должна обеспечивать достаточную информацию для изучения загрязнения воздуха в запыленных районах города в реальном времени, оценку эффективности мероприятий по снижению выбросов. Информация, полученная режиме реального времени, позволяет решать такие задачи, как оценка состояния воздушного бассейна, заболеваемости населения, ущерба зданиям и сооружениям, размещение строительного производства и планирование санитарно-защитных зон, уточнение методов расчета рассеивания, оценка фоновое загрязнение.

Загрязнение воздуха стало важнейшей глобальной экологической проблемой, особенно для развивающихся стран с быстрым экономическим развитием. На сегодняшний день наиболее значимые достижения в сфере защиты от пыли достигли ученые таких стран, как КНР [133, 144, 154, 155, 188, 190-195], Великобритания [191], страны Евросоюза [178], США [133, 151, 160], Южная Корея [135, 162]. Выявлено, что выбросы пыли при строительстве, имеют разную степень концентрации, частоту и продолжительность [167].

Поиск эффективных способов контроля за пылевыми выбросами в данных странах, в большинстве случаев, осложняется административными и экономическими препятствиями на данный момент. Основное препятствие – это

увеличение стоимости строительства, с которым подрядчики должны справляться. В связи с большими налоговыми и административными обременениями при выборе инвестиционного проекта, заказчики и подрядчики останавливаются на том, где нет перерасхода дополнительных средств [191].

В КНР причина вмешательства правительства в рыночные операции заключается в том, чтобы компенсировать сбои на строительном рынке, но в то же время административные органы ведут работу по защите окружающей среды. Хотя существующие меры направлены на дополнения друг друга, но в зависимости от провинции, где расположена строительная площадка, ряд принятых мер в составе, разработанной комплексной системы, могут быть неэффективными для того, чтобы подрядная организация включила в стоимость строительства средства для защиты от пыли.

В Китае все сектора промышленности, в том числе строительство, имеют большое воздействие на атмосферный воздух, что обусловило специалистов разрабатывать многофакторные стратегии управления экологическими рисками [118].

В целях сокращения распространения выбросов пыли за пределы строительной площадки в Китае разработана система защиты от пыли, включающая следующие аспекты [191]:

- организационно-технологические (мойка машин перед выездом за пределы площадки, укрытие грунта, ограничение производства работ в ветреную погоду, применение систем пылеулавливания, запрет производства бетонного раствора на строительной площадке, увлажнение воздуха при производстве пылящих строительных работ, оснащение строительной площадки ветрозащитной живой изгородью и. т. д.);

- экономические (компенсации от государства на возмещение затрат по оборудованию строительных площадок пылеулавливающим оборудованием, взимание платы за утилизацию пылевых загрязнителей, создание финансовых фондов поддержки строительных компаний по защите окружающей среды,

применение административных наказаний при выявлении случаев загрязнения окружающей среды и т.д.);

- управленческие (системы льготного кредитования строительных компаний на организацию мероприятий по защите от пыли с пылевыми выбросами, системы рейтинга строительных компаний на основе квалификации работников в сфере защиты с загрязнением окружающей среды от строительных работ, организация обучения и повышения квалификации штатного персонала в сфере экологической безопасности и т. д.).

В Соединенных Штатах Америки в зависимости от законодательства каждого штата существуют различные программы мероприятий по ограничению распространения выбросов пыли за пределы строительной площадки. Основными финансовыми инструментами в защите от пыли с пылевыми выбросами на строительной площадке являются фонды, оказывающие помощь строительным компаниям, которым выдает разрешение на производство строительных работ Национальная система ликвидации выбросов загрязняющих веществ (National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) [189]. Основными техническими решениями в защите от частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ на строительных площадках в США являются меры по защите от эрозии почвы, ветрозащитные сооружения, опрыскивание поверхности водой с целью осаждения частиц, мульчирование почвы, защита рабочих от воздействия пыли в основном сводится к применению средств индивидуальной защиты.

В странах Азии, например, в таких как Южная Корея, приветствуется развитие социальной ответственности, когда формируются наблюдательные комитеты из местных жителей, которые помимо курирующих органов организуют мониторинг, предоставляют информацию о степени запыленности территории вблизи строительной площадки [176]. В Южной Корее наиболее эффективными мерами защиты от пыли считается использование спринклерных систем и химических средств защиты от пыли, которые наносятся на строительные материалы для уменьшения выбросов твердых частиц в атмосферу [148, 155, 156, 175].

В Великобритании подрядные организации обязывают организовывать интеллектуальные системы орошения территорий строительных площадок, которые отслеживают в режиме реального времени уровень концентрации строительной пыли в воздухе, скорость и направление ветра, температуру и влажность. Системы мониторинга подают реальные данные в систему орошения и дают команду, когда и с какой скоростью поливать площадку [191].

Однако до настоящего времени остается неясным, как характеристика влажности пыли влияет на оседания частиц PM_{2,5} и PM₁₀ при различных ветровых условиях [191].

Большое внимание зарубежных исследователей было отведено на изучение выбросов пыли от строительных работ и защите от пыли. В начале 1990-х американский ученый Дон Дж. Лофгрэн анонсировал исследования Управления по охране труда при Министерстве труда США (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) о факте образования пылевого загрязнения в воздушной среде от строительных работ [133]. С тех пор многие ученые исследовали эффективные способы защиты от пыли со строительной пылью и добились желаемых результатов [190-195]. Ученые из Северокитайского университета водных ресурсов и электроэнергетики (Zhengzhou University) совместно с Китайской государственной строительной инженерной корпорацией (CSCEC) использовали экспериментальные методы для изучения и определения эффекта распыления капель воды для пылеподавления, результат показал хорошую эффективность пылеподавления при наилучших условиях распыления [190]. Аналогичные результаты были получены в 2020 году учеными государственного университета Биньчжоу в провинции Шаньдун, Китай [144]. Тем не менее, эти исследования в основном были сосредоточены на распылении с увеличением влажности воздуха, чтобы увеличить вероятность слипания частиц и анализе эффекта оседания пыли, но не предотвращения их образования. Совместные исследования ученых Института метеорологии и климатологии (Universität Karlsruhe) в Германии и Института Пауля Шеррера (Paul Scherrer Institut, PSI) в Швейцарии провели серию экспериментов по диффузии пыли с использованием

численного моделирования и полевых испытаний [145]. Отслеживая концентрацию частиц PM_{2,5} и PM₁₀ вблизи строительного производства, они обнаружили, что концентрация частиц сначала увеличивалась, а затем уменьшалась с увеличением высоты. В отличие от этого исследования, ученые Утрехтского университета (Universiteit Utrecht) в Нидерландах сделали выводы, собрав частицы пыли с разных высот вблизи строительной площадки, что концентрация пыли была обратно пропорциональна высоте точки сбора [163]. При исследовании вертикального распределения пыли при различной скорости ветра с помощью эксперимента в аэродинамической трубе установили, что скорость ветра оказывает очевидное влияние на диффузию твердых частиц PM_{2,5} и PM₁₀, а концентрация взвешенных частиц уменьшается с увеличением расстояния дрейфа [194].

Анализ зарубежного опыта по защите от пыли на строительной площадке показывает широкое распространенное применение точечных систем водяного распыления рядом с источниками выбросов пыли [5, 6, 34, 58]. Зарубежный опыт применения данных установок доказал их эффективность на практике.

В настоящее время зарубежная практика гражданского строительства, а также реконструкции исторических архитектурных сооружений набирает обороты благодаря применению технологии строительства зеленых крыш и использованию природных ресурсов в дизайне для защиты здоровья населения и создания приятной окружающей среды [7, 60, 79, 123]. Концепция озеленения крыш приобрела социальную и экологическую значимость сравнительно недавно, но доказано на примере опыта КНР [21, 80], Великобритании [160], Южной Кореи [175], что устройство таких конструкций является хорошим способом защиты от пыли, мелкодисперсной пыли PM_{0,5}–PM₁₀ без увеличения санитарно-защитной зоны на участках тесной застройки города.

Совсем недавно многие европейские города, такие как Барселона, Лондон, Венеция, решили внедрить системы зеленых крыш в качестве обычной практики архитектурных решений в гражданское строительство [21, 160]. Архитекторы и подрядчики строят зеленые крыши как систему очистки воздуха и открытое пространство для досуга, руководствуясь пожеланиями заказчика. Такие крыши

включают в себя доступные, комфортные зоны, полезные в больших городах с плотной застройкой.

1.4.2 В Российской Федерации

Объёмы возведения объектов гражданского строительства, реконструкции существующих зданий и сооружений, в т. ч. объектов архитектурного наследия в Российской Федерации стремительно возрастают, следовательно, растёт потребность в максимальном использовании ограниченных природных ресурсов, городских территорий и расширении их функциональности. Внедрение современных экономических способов защиты от пыли и повышение качества жизни населения требует экономических, функциональных, конструктивных и экологически безопасных решений для зеленых крыш.

Одним из важных технических решений является моделирование рисков от возникающих инцидентов на строительной площадке для их предупреждения в целях защиты атмосферного воздуха территории.

Научное направление по анализу рисков активно развивается с 80-х годов прошлого века в некоторых странах [32, 77, 81, 82]. Несмотря на значительный теоретический вклад, экологические риски в строительном производстве, в основном, остаются без внимания. В Китае все сектора промышленности, в том числе строительство, имеют большое воздействие на атмосферный воздух, что обусловило специалистов разрабатывать многофакторные стратегии управления экологическими рисками [118]. Отечественные исследования сосредоточены на нефтяном и дорожном строительстве, но, зачастую, не учитывают валовые выбросы, включая мелкодисперсную пыль, что требует дальнейшего развития, в том числе в секторе гражданского строительства, учитывая его специфику.

В соответствии с нормами ГОСТ Р ИСО 14044–2019, касающимися «Экологического менеджмента», оценивание уровня экологического риска от

строительной деятельности в России должно проводиться через комплексный подход [19]. Это включает в себя идентификацию потенциальных рисков, анализ выбросов пыли на единицу продукции, а также оценку экологического воздействия до и после применения мер по сокращению загрязнений. Необходимо также разработать планы на случай аварийных ситуаций, которые должны соответствовать определенным стандартам экологической безопасности проекта. Важно обеспечить сбор и анализ данных для эффективного экологического управления и инженерного проектирования, чтобы минимизировать риски и угрозы для общества [13].

1.5 Анализ программных продуктов и математических модулей расчёта загрязнения воздушной среды твердыми взвешенными частицами

1.5.1 За рубежом

Программные комплексы для расчета пылевого загрязнения представляют собой имитационное моделирование. Имитационное моделирование – это частный случай математического моделирования, используемое для цифровой обработки экспериментальных данных с целью анализа, оценки функционирования и проектирования исследуемого процесса или объекта [116].

Имитационная модель расчета рассеивания выбросов пыли имеет следующую структурную схему, представленную на рисунке 1.1 [116].

В настоящее время в зарубежной практике существуют системы моделирования процессов распространения выбросов пыли, которые широко используются для оценки пространственного рассеивания и воздействия на окружающую среду концентрации частиц мелкодисперсной пыли PM₁₀ [139, 142, 143, 148]. Наиболее распространенной системой имитационного моделирования

рассеивания выбросов пыли является модель CALPUFF (California Puff Mesoscale Dispersion Model), которая применяется для расчета объемов выбросов и концентрации мелкодисперсных частиц $PM_{0,5}$ – PM_{10} , выбрасываемых в том числе от строительного производства, в таких странах как Италия, Испания, Франция и прочих стран Европейского союза, Соединенные Штаты Америки [160].



Рисунок 1.1 – Схема модели имитационного моделирования выбросов пыли

В США для расчета распределения выбросов пыли используются программные продукты ISCST3 (Industrial Source Complex-Short Term Version 3) и модели AERMOD (American Meteorological Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model), разработанные Агентством по охране окружающей среды США с целью прогнозирования приземных концентраций загрязняющих веществ [160]. Исследования, проведенные в Индии и в странах юго-восточной Азии обнаружили, что наиболее распространены в применении программные комплексы AERMOD, CALPUFF, ISCST3 и CAMx (Comprehensive Air Quality Model) [183]. Результаты исследования показывают, что на первом месте достоверные результаты прогноза дает CALPUFF, втором – AERMOD, третьем – ISCST3 и последнее место – CAMx.

В Китайской Народной Республике на практике применяется имитационная модель расчета качества воздуха CMAQ (The Community Multiscale Air Quality) для прогнозирования влияния выбросов пыли PM_{2,5} от угольной промышленности на качество воздушной среды [135].

Ряд исследований показывают, что метеорологические условия (влажность, направление и скорость ветра, температура) значительно влияют на моделирование концентрации любого загрязняющего вещества, особенно на региональном уровне [153, 159, 160]. С целью изучения рассеивания пылевых загрязнений под действием метеорологических факторов Национальный центр компьютерной безопасности США (North Carolina Supercomputing Center) разработал программный комплекс HR-RADM (high-resolution version of the regional deposition model) [160]. Для исследования рассеивания посредством выбросов пыли химических веществ, широко используется региональная трехмерная модель переноса химических веществ (CTM) PMCAMx (Particulate Matter Comprehensive Air quality Model with extensions), позволяющая спрогнозировать результаты загрязнения в зоне исследования площадью до 1300 км². Наилучшим программным комплексом по результатам прогнозирования качества воздуха в урбанизированном регионе со сложным рельефом, на примере Японии стала модель CMAQ с зонами прогнозирования до 9 км [151]. Результаты прогнозирования давали наиболее точные прогнозы концентрации частиц PM_{2,5} – PM₁₀ в высоком разрешении с учетом текущих на тот момент метеорологическими условиями.

1.5.2 В Российской Федерации

В Российской Федерации используется унифицированное программное обеспечение УПРЗА «Эколог». Его основа – это «Методика расчета распределения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух» (МРР-2017), утвержденная приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 [97]. Данное

программное обеспечение оценивает распределение загрязняющих веществ, в том числе неорганической пыли от точечных источников.

Применение имитационной модели загрязненности воздуха городской среды пылевыми выбросами и прогноз их рассеивания от точечного источника – строительной площадке должен отображать процесс в динамике, с учетом специфики реализуемого строительного процесса и характеристик территории, на которой расположена строительная площадка, в чем на сегодняшний день преуспели сводные расчеты выбросов пыли.

В ответ на проблему загрязнения воздуха в городах был запущен федеральный проект инициатива под названием «Чистый воздух». Задействовано 41 территория в качестве пилотных зон, и инициатива находится под управлением Министерства природных ресурсов России. Целью данного проекта является уменьшение загрязнения атмосферы путем внедрения обширных мер по сокращению выбросов и введению системы квот на выбросы. Федеральное государственное бюджетное учреждение «ВНИИ Экология» играет центральную роль в проекте, занимаясь подготовкой обобщенных данных о загрязнении воздуха, реализуя комплексную оценку качества наземного воздуха, охватывая множество типов атмосферных загрязнителей, называемую сводные расчеты, в том числе взвешенных частиц [127].

Для анализа уровня загрязнения атмосферы используются утвержденные методы, такие как MPP-2017, которые включают в себя оценку эмиссий и их распределение в воздухе. Эти подходы обеспечивают возможность сбора и анализа информации о присутствии загрязнителей не только в промышленных, но и в жилых районах, способствуя формированию комплексного взгляда на качество атмосферного воздуха. В результате, можно получить глубокое понимание текущего состояния воздушной среды на конкретной территории.

Исследование и регулирование выбросов в атмосферу на территории Российской Федерации не является чем-то новым. Уже в девяностых и начале двухтысячных, в нескольких городах, включая Санкт-Петербург, Красноярск, Челябинск, и Улан-Удэ, были проведены сводные расчёты рассеивания выбросов

вредных веществ в атмосферу. Однако, использование проектов сводных расчетов как эффективного механизма контроля за уровнем выбросов произошло лишь после разработки федеральной инициативы «Чистый воздух» осуществляясь под руководством Министерства природных ресурсов и экологии России согласно закону от 29 ноября 2019 года № 813-ФЗ [98].

Сводные расчеты предназначены для выявления как разовых, так и среднегодовых максимальных уровней загрязняющих веществ на высоте 1.5-2 м над землей. Под эгидой федерального проекта «Чистый воздух» и при активном участии Министерства природных ресурсов и экологии России, данные имитационные виды моделирования открывают новые перспективы для совершенствования экологической обстановки принимая во внимание особенности обеспечения экологической безопасности при точечном строительстве. Особенности расчета рассеивания частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ в точечном строительстве основываются на моделях и алгоритмах, которые должны учитывать влияние внешних факторов воздействия (метеоусловия, скорость ветра, рельеф территории, влажность, расположение участка строительства на городских территориях, коэффициент застройки и т.д.). Путем введения требуемых параметров и данных в систему математических уравнений, появляется возможность избежать долгосрочного наблюдения за состоянием воздушной среды строительной площадки и спрогнозировать рассеивание частиц PM_{2,5} и PM₁₀ на текущий момент в зависимости от источника – строительного процесса. Методы и алгоритмы, лежащие в основе моделирования рассеивания частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ разнятся в зависимости от постановки задачи.

Следует отметить, что помимо уравнений движений и неразрывности используется следующее дифференциальное уравнение, которое учитывает во внимание метеорологические и климатические компоненты и аэродинамические характеристики частиц пыли

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + (W - Wg) \frac{\partial C}{\partial z} = K_1 \frac{\partial C}{\partial x^2} + K_2 \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_3 \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, \quad (1.5)$$

где $C(x, y, z)$ – концентрация взвешенных частиц в момент времени t от источника – строительства с координатами (x, y, z) , мкг/м^3 , U, V, W – векторы скорости ветра, м/с , Wg – скорость оседания частиц $\text{PM}_{2,5}$ и PM_{10} , м/с , K_1, K_2, K_3 – коэффициенты диффузии выбросов пыли, измеряемые, $\text{м}^2/\text{с}$ [169].

Моделирование рассеивания частиц в точечном строительстве на конкретной территории должно проводиться, исходя из уровня загрязнения региона, определения фоновой концентрации, с учетом его соседства с жилой или общественно-деловой зонами, стесненности условий. Выполнив расчет рассеивания выбросов пыли от всех источников на стройплощадке с учетом специфики территории строительства, можно не только определить, но и разработать конкретные мероприятия и снизить концентрацию конкретных загрязняющих веществ, в том числе мелкодисперсных частиц на границе стройплощадки и в воздухе близлежащих жилых зон.

1.6 Анализ исследований дисперсного состава пыли как ее основной характеристики

Современные методы оценки загрязнения воздуха пылью при строительстве включают применение детерминированных подходов. Эти методы предполагают анализ дисперсности пылевых частиц, представленный в форме дифференциальных или интегральных кривых, которые отражают распределение частиц по размерам с указанием их среднего числа или массы. Такой подход позволяет точно определять структуру пыли и используется для выполнения различных расчетов, зависящих от детального понимания её состава.

Часто применяемый метод для оценки распределения частиц по массе включает использование интегральной функции $D(d_h)$, которая показывает процент частиц, способных пройти через фильтр с определённым размером отверстий d_h , от общего веса отсеянной пробы. В контексте анализа состава пылевых дисперсий в

зонах работы, важно учесть два аспекта. Во-первых, состав мелкодисперсной пыли, выделяющейся непосредственно из источника во время строительства, обычно отличается от того, который наблюдается в воздухе рабочей зоны и тем более на строительной площадке и на близлежащих территориях жилой зоны [1, 2]. На рисунке 1.2 по результатам исследования автора [31] показано, как распределяется масса частиц по их размерам, взятых во время процессов, связанных с оштукатуриванием стен. Например, при производстве штукатурных работ в летнее время при открытых окнах интегральная кривая, характеризующая пыль в воздухе строительной площадки на расстоянии 5 м от окон смещена значительно влево по сравнению с функциями, характеризующими дисперсный состав пыли в рабочей зоне на всех этапах. Диапазон изменения размера частиц в воздухе рабочей зоны 60-130 мкм, а в воздухе строительной площадки – не более 24 мкм. А интегральная функция распределения для пыли в жилой зоне в это же время, расположена еще левее и максимальный размер частиц не превышает 12 мкм.

Пылевые частицы, образующиеся в процессе приготовления раствора подчиняются логарифмически-нормальному закону, что отражено прямой линией в логарифмически-нормальной сетке, в то время как пыль в окружающей среде и в воздухе рабочей зоны при работах точечного строительства имеет усечённые распределения [155, 165].

Во-вторых, следует иметь в виду при изучении состава строительной пыли, что изменения в технологических процессах и атмосферные условия вносят элементы неопределенности в функции, которые описывают этот состав. Пыль представляет собой систему, состоящую из множества частиц различного эквивалентного диаметра, и функционирует как статистическая выборка. В таких системах размеры частиц обычно характеризуются в одномерном измерении (например, эквивалентным диаметром), что не всегда адекватно отражает действительность [161].

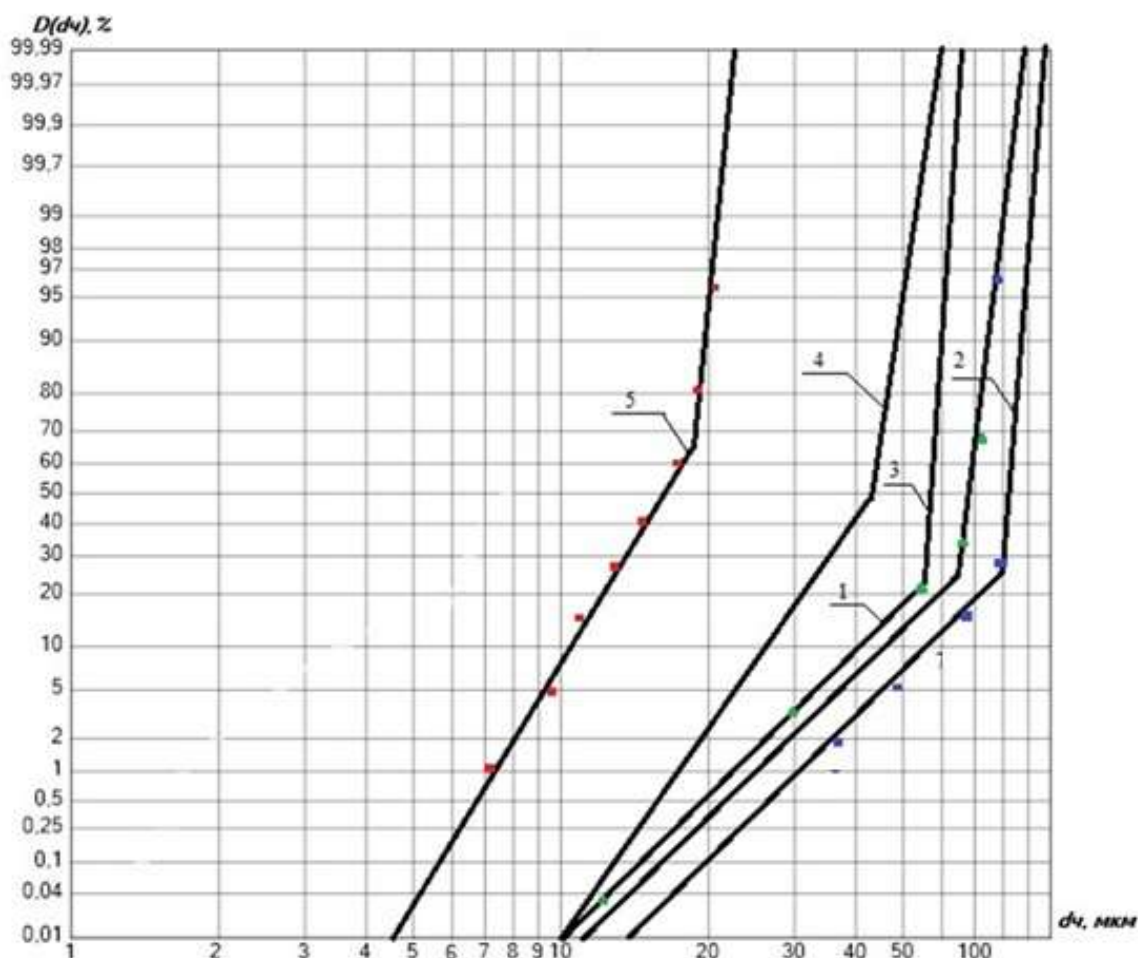


Рисунок 1.2 – Интегральная функция распределения массы частиц пыли по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке, отобранной при производстве штукатурных работ в рабочей зоне: 1 – пыль, образующаяся от приготовления раствора; 2 – от узла смешивания составляющих в штукатурной станции и в процессе затирки; 3 – в процессе подачи штукатурки на рабочую поверхность; 4 – после подачи раствора.; 5 – в воздушной среде строительной площадки на расстоянии 5 метров от окон, где выполняются работы

В анализе дисперсного состава пыли, встречающегося в воздухе рабочих зон, необходимо принимать во внимание особенности точечного строительства. Дисперсный состав пыли может быть охарактеризован с помощью случайных функций или случайных процессов, где второй случай отражает отклонения от средних значений, связанных с технологическими процессами и аэродинамическими свойствами рабочей среды. Для глубокого понимания дисперсного состава пыли целесообразно использовать разнообразные теоретические и практические подходы, описанные в исследованиях таких ученых как Н.А. Фукс [128], П.А. Коузов [30], В.Н. Азаров [1, 2, 141], В.И. Беспалов [5,

164], Е.И. Богуславский [142], Н.В. Мензелинцева [87, 150], Н.М. Сергина [88, 195], Н.В. Бакаева [156], Е.А. Калюжина [24, 27, 120] и многих других.

В исследовании В.Н. Азарова было введено математическое представление для описания распределения массы частиц в зависимости от их диаметров, основываясь на анализе поведения пыли в воздушной среде при работах точечного строительства. Однако применение этой модели к разным материалам осложнено отсутствием точных данных о максимальном диаметре частиц, d_{max} . В этом случае возможно использовать метод рассечения и отдельно рассматривать закон распределения для частиц логарифмически нормальному распределению и случайным функциям, характеризующим дисперсный состав крупных частиц [1].

Современные исследования часто указывают на логарифмически-нормальное распределение как на предпочтительный метод для описания микрочастиц [1-3, 5, 54, 141]. Этот метод подкреплён теоретическими основаниями [168, 185]. Однако интересно отметить, что анализ дисперсного состава пыли в рабочих зонах, на строительной площадке и в жилых зонах иногда показывает отклонения от этого закона [162], как правило переходит в усеченные логарифмически нормальные распределения. Это означает, что результаты анализа не всегда могут быть изображены в виде прямой линии на графике с логарифмической и вероятностной шкалами.

Из-за разнообразия технологических процессов в воздухе жилых зон зачастую при работах точечного строительства может происходить изменение дисперсных характеристик строительной пыли, делая ее состав случайным набором частиц разных размеров. Эти изменения затрудняют точное описание размерного распределения частиц на основе стандартной интегральной функции распределения для каждого измерения. В результате, для анализа полного диапазона возможных изменений в размерах частиц пыли, необходимо использовать методы, основанные на теории случайных функций [1, 2, 24, 30, 142]. Современные подходы к описанию дисперсного состава пыли часто не учитывают все возможные вариации, возникающие в реальных условиях работы.

1.7 Задачи, поставленные к решению и выбор направления исследования

Независимо от того какие мероприятия проводятся и внедряются, их количество на сегодняшний день недостаточно ни в одной стране для полной защиты населения от воздействия строительной пыли с технической точки зрения. Благодаря обзору литературы можно обнаружить, что существующие исследования в основном сосредоточены на разработке технологических мер для защиты от строительной пыли. Очень мало исследований было проведено с точки зрения задачи снижения уровня концентрации пыли в воздухе территорий, прилегающих к строительным площадкам точечной застройки. Например, как использовать управленческие инструменты или меры для снижения уровня загрязнения воздушной среды строительной пылью.

Рассматривая применение мирового опыта нормативного регулирования запыленности воздушной среды от строительного производства в Российской Федерации наиболее перспективными решениями, на наш взгляд, стали бы:

1. Разработка мер финансовой поддержки на законодательном уровне для организации мониторинга и мер по оборудованию строительных площадок защитных мероприятий.
2. Разработка на базе опыта западных стран технических спецификаций для внедрения в проектную и рабочую документацию.
3. Разработка системы льготного налогообложения для строительных компании, входящих в перечень сертифицированных подрядчиков, кто на опыте внедрения организационно-технологических, управленческих решений подтвердил опыт организации строительного процесса без превышения значений ПДК частиц PM_{2,5} и PM₁₀.

Исследование выбросов пыли, особенно мелкодисперсной, в контексте строительства в городах привлекло значительное внимание. Рост строительной отрасли приводит к увеличению строительных работ в плотно населенных

мегаполисах и других населенных пунктах, где из-за ограниченного пространства появляются новые строительные участки. На таких участках, где возводятся здания и жилые комплексы различной высоты с поэтапным вводом объектов в эксплуатацию, крайне важно провести всестороннюю оценку и анализ воздействия строительства на загрязнение воздуха. Необходимо тщательно изучить все источники выбросов пыли и механизмы ее распространения в условиях уже существующего уровня загрязнения, который формируется под воздействием климатических, природных и рельефных особенностей данной местности.

В городах, где сохранение исторических центров является приоритетом для государственных органов, встречаются архитектурные памятники, требующие реставрации, в окружении строительных объектов. С течением времени эти места преобразуются в центры обновленной и живой городской среды. Однако строительство может повысить уровень пылевого загрязнения, оказывая влияние на окружающие жилые зоны. Для минимизации негативного воздействия требуется разработка и внедрение комплексных экологических и технических мероприятий по контролю за распространением пыли.

На сегодняшний день стоит задача разработать компактные и доступные устройства защиты от выбросов пыли, адаптированные под условия строительного производства в нашей стране.

Необходимо выполнить исследовательские работы для сбора исходных данных, необходимых при моделировании загрязненности пылью атмосферного воздуха от точечного строительного производства, например, для расчетов по методам МРР 2017 [97] разработать систему прогнозных оценок возможного превышения ПДК в жилой зоне городской застройки, позволяющую анализировать средние ожидаемые концентрации выбросов пыли при операционном управлении строительных процессов с учетом экологических показателей.

4. Необходимо разработать систему расчета концентраций мелкодисперсной пыли PM₁₀-PM_{2,5} на прилегающих городских территориях к точечной застройке.

1.8 Выводы по главе 1

1. Анализ предыдущих исследований отечественных и зарубежных ученых, направленный на изучение выбросов пыли при строительстве, показал, что в большинстве стран мира строительная отрасль является одним из основных источников загрязнения воздуха городских территорий и агломераций. При этом исследования, посвященные точечной застройки, практически отсутствуют.

2. Нормативы, регламентирующие качество воздушной среды городской территории, балансируют между экологией и здоровьем населения. Рассматривая применение мирового опыта нормативного регулирования запыленности воздушной среды от строительного производства в Российской Федерации наиболее перспективными решениями, стали бы:

- разработка мер финансовой поддержки на законодательном уровне для организации мониторинга и мер по оборудованию строительных площадок защитных мероприятий.

- разработка на базе опыта западных стран технических спецификаций для внедрения в проектную и рабочую документацию.

- разработка системы льготного налогообложения для строительных компаний, входящих в перечень сертифицированных подрядчиков, кто на опыте внедрения организационно-технологических, управленческих решений подтвердил опыт организации строительного процесса без превышения значений ПДК частиц PM_{2,5} и PM₁₀.

3. Для снижения выбросов пыли в атмосферный воздух городских территорий, располагающихся вблизи точечной застройки, требуется разработка и внедрение комплексных экологических и технических мероприятий по контролю за распространением пыли.

4. На сегодняшний день стоит задача разработать компактные и доступные устройства защиты от выбросов пыли, адаптированные под условия строительного производства в нашей стране. Анализ концентрации выбросов пыли должен

учитывать метеорологические факторы для прогнозирования рассеивания загрязнителей в реальном времени на урбанизированных территориях.

5. Необходимо выполнить исследования для сбора исходных данных, необходимых при моделировании загрязненности пылью атмосферного воздуха при точечном строительстве, разработать систему прогнозных оценок возможного превышения ПДК в воздухе жилой зоны городской застройки, позволяющую анализировать средние ожидаемые концентрации выбросов пыли при управлении строительными процессами с учетом экологических показателей.

6. Необходимо разработать систему расчета концентраций мелкодисперсной пыли PM₁₀-PM_{2,5} в воздухе территорий точечной застройки и прилегающих к ней территорий.

ГЛАВА 2 АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ИСТОЧНИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПЫЛИ ПРИ ТОЧЕЧНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ОСОБЕННОСТИ (ИЛИ ХАРАКТЕР) ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ТОЧЕЧНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1 Натурные исследования общей концентрации взвешенных веществ в зоне влияния точечной застройки

Оценку дисперсного состава пыли, выделяемой при строительных процессах на территориях, прилегающих к жилой зоне, проводили на нескольких строительных площадках точечной застройки на базе метода, основанного на гравиметрических измерениях с использованием портативного счетчика частиц Handheld 3016 и электрического aspirатора ПУ-3Э/12 для определения массы отобранной пыли. Оборудование представлено на рисунке 2.1. Время отбора проб воздуха для измерений разовой концентрации составляло серией из 5-6 замеров по 20 мин трижды для каждого технологического процесса в течение периода года в соответствии с ГОСТ Р 58577-2019 [15].

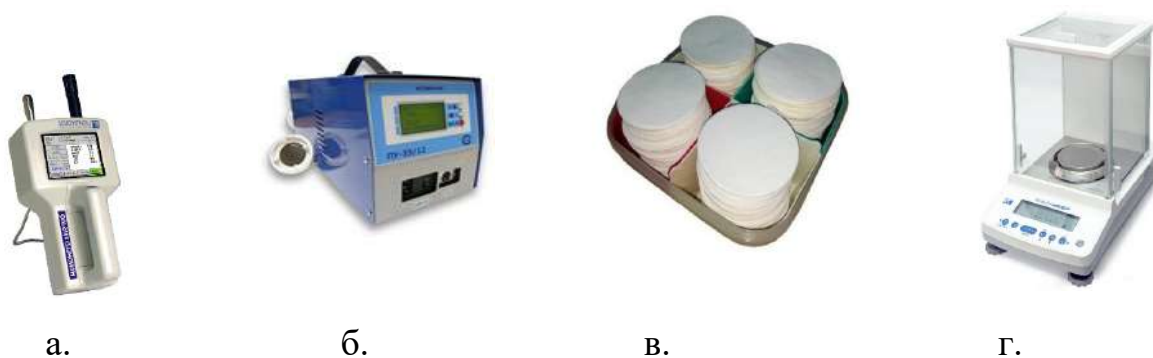


Рисунок 2.1 – Приборы, использованные при отборе проб:
а – счётчик частиц Handheld 3016; б – электроаспиратор ПУ-3Э/12;
в – аэрозольные фильтры АФА; г – аналитические весы ВЛ-224В

Измерения концентрации пыли в атмосфере выполнялись согласно [17, 85].

Для микроскопического анализа были приготовлены фильтры с исследуемой пылью после отбора проб и взвешивания. Анализ производили, используя компьютерную программу "SPOTEXPLORER" [85], позволяющую выводить результаты обработки изображений частиц пыли на экран компьютера. В программе были рассчитаны эквивалентные диаметры частиц, их количество, затем рассчитывали интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам. В анализе дисперсного состава пыли использовали различные методы представления результатов исследований. Одним из них являлись гистограммы, в которой размер частиц отображают на оси x в виде заданных интервалов и измеряют в процентах или относительных единицах. Также применяли дифференциальные функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам [30]. Кроме того, в последнее время многие исследователи используют интегральные функции распределения массы (объемов) частиц по эквивалентным диаметрам – далее ИФРМЧЭД или ИФРОЧЭД) [1, 24, 38].

Одним из объектов натуральных исследований стала строительная площадка 20-этажного жилого дома в г. Ростове-на-Дону по улице Магнитогорская, дом 2Б. Ситуационный план расположения объектов представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Схематическое изображение района исследования:

1. Строительная площадка 20-этажного дома. 2. 25-этажный дом, которому уже более двух лет и который полностью заселен. 3. 20-этажный дом, строительство которого было завершено за месяц до исследования

Предварительно была поставлена задача для объективной оценки уровня пылевыведения от строительных работ определить места отбора проб. Выбор был определен путем разделения строительных работ на циклы (подготовительный (демонтажные работы и подготовка участка к строительству), нулевой (земляные работы, устройство фундамента, устройство инженерных коммуникаций и т.д. и надземный (монтаж несущих и ограждающих конструкций, кровельные работы). Ввиду одновременной реализации всех циклов строительных работ на строительной площадке, так как производство работ велось на нескольких объектах с разной степенью готовности были определены 4 группы контрольных точек, где проводились замеры уровня пылевыведения группы строительных работ, относящихся к определенному циклу. Для каждой строительной работы были определены 6 контрольных точек, где проводилась серия из 8 замеров каждого вида из производимых на текущий момент строительных работ. В качестве итогового результата выбиралось среднее значение из 8 замеров. Воспроизводимость опыта определялась по критерию, указанному в источнике [30]. Измерения в заселенном объекте проводили на этажах 2, 6, 11, 16, 20 и 25 по такому же принципу 6 контрольных точек для каждой работы из серии 8 замеров. На объекте, где проводили ремонтно-строительные работы, отбор проб был на этажах 2, 6, 11, 16, 20 аналогично двум предыдущим объектам. Параллельно велись замеры в жилой зоне. Условия отбора проб в летнее время: направление ветра – восточное, температура воздуха +25 °С. Условия отбора проб в зимнее время: направление ветра (северо-западное), температура воздуха - 4 С. Схема расположения точек отбора проб на строительной площадке представлена на рисунке 2.3. Исследования проводились в течение 4 сезонов. Значения концентрации пыли на исследованной территории представлены в таблице 2.1. Результаты замеров подтверждают актуальность данных исследований: концентрации пыли в том числе мелкодисперсной превышает ПДК и указывает на необходимость разработки технических решений по снижению запыленности воздушной среды. Кроме того, полученные данные позволяют исследовать концентрацию пыли как случайную

величину и разрабатывать другие подходы к характеристикам качества воздушной среды в зоне точечной застройки [35,36].



Рисунок 2.3 – Схема расположения контрольных точек отбора проб частиц пыли на строительной площадке в летний и зимний периоды.

Условные обозначения: 1-4 – контрольные точки отбора проб; А – строящийся объект; В – жилой заселённый дом; С – жилой дом, недавно введенный в эксплуатацию

Таблица 2.1 – Средняя концентрация взвешенных веществ в зоне точечной застройки

Наименование объекта исследования	Место отбора проб		Показатель концентрации, мг/м ³
	Этаж	Контрольная точка отбора	
25-этажный жилой дом рядом со строительной площадкой	2	внутри	1,83
	6	внутри	4,84
	11	внутри	1
	16	внутри	0,68
	21	внутри	1,2
	25	внутри	0,7
Строительная площадка с объектом строительства	1	1 - снаружи	0,3
	1	2- снаружи	0,8
	1	3- снаружи	0,8
	1	4- снаружи	0,65
20-этажный дом с ремонтно-строительными работами	2	внутри	1,7
	6	внутри	0,95
	11	внутри	0,36
	16	внутри	4,01
	20	внутри	1,07

Вторым объектом исследования пылевых выбросов от точечного строительства стала стройплощадка, расположенная по адресу: г. Ростов-на-Дону, улица Магнитогорская, д. 2, представленная на рисунке 2.4 [82].



Рисунок 2.4 – Объект точечного строительства, место проведения исследования

С марта по август 2022 года во время проведения демонтажных, подготовительных и строительных работ нулевого цикла регулярно осуществляли замеры концентрации пыли на строительной площадке и в зоне влияния точечной застройки. В ходе исследования, проведенного с использованием версии 4.60.6 программного обеспечения УПРЗА «Эколог», было изучено воздействие строительства в жилом районе г. Ростова-на-Дону на качество атмосферного воздуха. Анализировали качество воздуха на площади 320 на 420 м², разбитой на ячейки размером 20 на 20 м². Метеоусловия в период наблюдений: температура воздуха от +12 до +25°C, скорость ветра от 3-7 м/с и влажность от 30 до 60%. Также оценивали распределение загрязняющих веществ в атмосфере на границе жилой зоны на высоте 1,5 м. Уровень загрязнения измеряли в четырех различных контрольных точках по периметру строящегося жилого комплекса «Екатерининский», таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Координаты расчетных точек

Код	Координаты, м	
	X	Y
1.	47.19483	39.61902
2.	47.19326	39.6238
3.	47.19591	39.62465
4.	47.19662	39.62167

С использованием растрового двухлучевого электронного микроскопа Versa 3D производства компании FEI из США, нами проведен анализ химического состава образцов пыли, взятых с территории строительной площадки (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Химический состав пылевых выбросов от точечного строительства

№ п/п	Наименование вещества	Наименование источника
1.	Алюминий триоксид (Al_2O_3)	Демонтажные работы
2.	Висмут оксид (Bi_2O_3)	Устройство фундамента
3.	Железо сульфат ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)	Устройство ограждения, устройство временных зданий
4.	Железо (II, III) оксиды (FeO , Fe_2O_3)	Демонтажные работы, сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты
5.	Калий карбонат (K_2CO_3)	Устройство фундамента
6.	Кальций оксид (CaO)	
7.	Кальций карбид (CaC_2)	Сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты
8.	Литий хлорид (LiCl)	
9.	Магний оксид (MgO)	Устройство фундамента
10.	Магний дихлорат гидрат ($\text{Cl}_2\text{MgO}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	
11.	Медь сульфат (CuSO_4)	Устройство временных зданий
12.	Оксид марганца (IV) (MnO_2)	Устройство фундамента
13.	Медь оксид (CuO)	Демонтажные работы
14.	Свинец (Pb)	Разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
15.	Углерод (C) (Пигмент черный)	Устройство фундамента, битумные работы
16.	Сера диоксид (SO_2)	Земляные работы, устройство фундамента, устройство временных дорог, устройство инженерных коммуникаций, разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
17.	Фосфор (V) оксид (P_2O_5)	Разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
18.	Азота диоксид (NO_2)	Земляные и сварочные работы, разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
19.	Углерода оксид (CO)	Разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
20.	Диоксид марганца (MnO_2)	Устройство фундамента, битумные работы, разгрузка материалов

Элементные составы частиц пыли в воздухе жилой зоны, прилегающей непосредственно к строительной площадке точечной застройки для крупных и мелких частиц представлены в таблицах 2.4 и 2.5 [37, 54, 69].

Таблица 2.4 — Элементный состав частиц диаметром более 100 мкм (5 серий)

Элемент	Весовая доля, %					Атомная доля, %					Погрешность, %				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
C	19	7,4	16	14	13	27	12	24	23	19	10,4	28,3	9,6	9,3	1,5
O	48	45	50	50	55	51	54	59	8	61	9,02	8,5	9,5	9,3	8
Na	0,3	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	0,2	19	19,8	19,8	27	20
Mg	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,7	0,2	0,2	0,3	0,2	39	14,8	26	15	26
Al	1,06	0,5	2,1	1,5	1,6	0,7	0,7	1,3	0,9	0,9	6,01	6,9	5,7	6	4,8
Si	25	44	5,3	11	28	16	27	4	8,2	18	3,40	2,8	4,01	3,6	3
S	1,7	0,3	8	0,5	0,5	0,6	0,4	5,1	0,2	0,3	5,02	12	2,7	11	9
K	0,7	0,5	0,7	0,7	0,9	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	11	11,2	11,2	10	9,4
Ca	3,33	0,1	13	21	2	1,2	0,9	6,1	10	0,8	2,7	6,04	1,2	1,5	2,8
Fe	1,1	0,1	2,4	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	0,2	10,3	4,02	3,8	-	-
P	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	12	12	12	13	13

Таблица 2.5 – Элементный состав пыли с частицами диаметром менее 10 мкм

Элемент	Весовая доля, %		Атомная доля, %		Погрешность, %	
	Весна	Лето	Весна	Лето	Весна	Лето
C	28,5	41,3	45,11	44,03	7,02	7,04
O	45,4	38,3	38,92	37,11	9,81	9,72
Na	0,06	0,12	0,13	0,16	26,21	26,07
Mg	0,34	0,21	0,26	0,16	11,05	11,09
Al	0,45	1,04	0,5	0,58	5,4	5,39
Si	2,01	4,98	1,9	2,8	4,3	3,9
P	0,3	0,4	0,25	0,2	7,3	7,2
S	0,2	0,3	0,16	0,16	9,11	8,55
K	0,05	0,15	0,12	0,08	16,5	16,54
Ca	23,2	12,7	10,2	5,01	1,33	1,41
Fe	0,5	0,6	0,15	0,15	8,1	8,2

Анализ элементного состава пыли, отобранной в ходе исследования, показал, что основными компонентами проб были следующие элементы: C, O, Si и Ca. При этом следует отметить, что состав для крупных частиц в воздухе строительной площадки и элементный состав мелкодисперсной пыли в жилой зоне существенно отличается. При этом наиболее существенные отличия в летний период.

Для анализа уровня пылевыведения источников во время строительных работ была разработана система оценок. Отнесение того или иного технологического процесса к определенному уровню пылевыведения I_{Π} определяли на основании 3 параметров: длительность процесса пыления K_1 ; концентрация пыли в воздухе вблизи источника K_2 ; интенсивность пылеоседания K_3 .

Измерение концентрации пыли в воздухе проводили на расстоянии 3 м с подветренной стороны на высоте 1,5 м или измерением интенсивности пылеоседания на отметке 0.000 на расстоянии 10 м с подветренной стороны с использованием тарелочек-ловушек [1]. Интенсивность пылеоседания характеризовалось толщиной слоя осевшей в ловушке пыли $h_{\text{слоя}}$ за время τ , которое определяли по формуле

$$h_{\text{слоя}} = \frac{m}{\rho \times S \times \tau}, \quad (2.1)$$

где m – масса материала (пыли), попадающая в ловушку, г; ρ – плотность материала (пыли), г/м³; S – площадь ловушки, м²; τ – время проведения измерений, час. Измерения проводили в течение не менее 1 часа для каждой контрольной точки. Концентрация пыли в воздухе характеризовала степень загрязнения, а интенсивность пылеоседания – выделение крупных частиц.

Принято следующие значения параметров системы оценки уровня пылевыделения строительных процессов:

1. Длительность процесса пыления K_1 : при $\tau < 1$ час, $K_1=0$; при $\tau > 1$ часа, $K_1=1$.
 2. Концентрация пыли в воздухе вблизи источника K_2 : при менее 0-1 ПДК, $K_2=0$; при 1-2 ПДК, $K_2=1$, при 2-5 ПДК, $K_2=2$, более 5 ПДК, $K_2=3$.
 3. Интенсивность пылеоседания K_3 : при $h_{\text{слоя}} \leq 0,1$ мм, $K_3=0$; при $0,1 \leq h_{\text{слоя}} \leq 0,25$ мм, $K_3=1$; при $0,25 \leq h_{\text{слоя}} \leq 0,5$ мм, $K_3=2$; при $h_{\text{слоя}} \geq 0,5$ мм, $K_3=3$.
- Все неорганизованные источники при строительном производстве разделили на 4 группы в зависимости от значения критерия I_{Π} , (0–3), вычисляемого по формуле

$$I_{\Pi} = K_1(K_2 + K_3), \quad (2.2)$$

при $I_{\Pi} = 0$ – не пылящие процессы, при $I_{\Pi} = 1-2$ – средне пылящие процессы, $I_{\Pi} = 3-4$ – умеренно пылящие процессы, $I_{\Pi} = 5$ и более – сильно пылящие процессы, таблица 2.6 [70].

Таблица 2.6 – Уровни пылевыведения при производстве различных строительных работ

Наименование работ	Параметры пылящих процессов			
	K_1	K_2	K_3	Группа
Земляные	1	3	3	сильно пылящие
Штукатурные	1	3	2	сильно пылящие
Изоляционные	0	1	1	слабо пылящие
Опалубочные	0	1	0	не пылящие
Возведение лесов и подмостей	1	0	0	слабо пылящие
Арматурные	0	0	0	не пылящие
Монтажные	0	1	0	слабо пылящие
Каменные	1	1	0-1	средне пылящие
Устройство полов и покрытий	1	2	1	умеренно пылящие
Очистка территории	1	2	3	сильно пылящие
Отделочные	1	3	3	сильно пылящие
Малярные	1	0	0	слабо пылящие
Бетонные	1	3	3	сильно пылящие
Кровельные	1	1	0	средне пылящие

2.2 Исследование дисперсного состава пыли, выделяющейся в атмосферу при точечном строительстве

Натурные исследования по анализу состава и количества частиц мелкодисперсной пыли, выделяющейся в атмосферу в процессе строительства были разделены на два этапа. Сначала была изучена концентрация пыли в воздухе строительной площадке и территории городской застройки в зоне влияния строительных работ в (п 2.1).

В ходе второго этапа натурных исследований проводили анализ дисперсного состава и концентрации мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ в атмосфере на стройплощадке и на близлежащих территориях, с учетом таких переменных, как время суток, расстояние от строящегося здания и влажность воздуха [15]. Натурный эксперимент начали через месяц после ввода первого дома в эксплуатацию.

Изучение включало анализ концентраций частиц PM10 и PM2,5 в воздухе, а также их скорости оседания. В выборе весенне-летнего периода для сбора данных по содержанию пыли и концентрациям PM10 и PM2,5 в воздухе сыграла роль необходимость соблюдения определенных условий во время ремонтно-строительных работ, в частности, поддержание температуры не ниже -10 °С и влажности не менее 40%. Для оценки уровня общей концентрации пыли использовали методику, подробно описанную в литературе [85]. На рисунке 2.5 изображена схема, по которой производили отбор проб в воздухе рабочей зоны строительства [173].

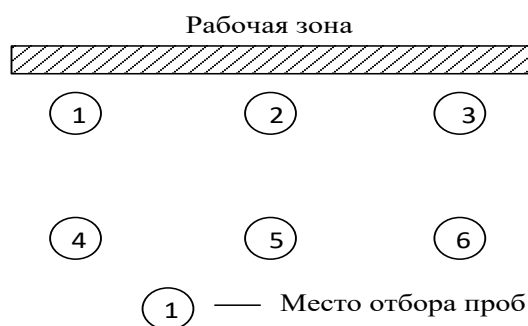


Рисунок 2.5 – Схемы отбора проб воздуха от источника образования пыли в рабочей зоне при выполнении ремонтно-строительных работ

Точное измерение уровня содержания пыли в воздухе, когда берут единичные пробы, надо проводить с соблюдением условия изокINETИЧНОСТИ. Это значит, что скорость потока воздуха, проходящего через аппаратуру, должна соответствовать скорости ветра, идущего навстречу. Для достижения этой цели использовали конусные насадки, скорость ветра в период наблюдений составляла 7-8 м/с. Кроме того, при отборе проб фильтродержатель устанавливали так, чтобы он был направлен прямо на ветровой поток.

Отбор проб для выявления среднесуточных уровней концентраций пыли, занимал 20 минут, его выполняли в строго определенные временные отрезки: в 8.00, 11.00, 14.00 и 17.00 часов. Специализированное устройство – беспроводная метеостанция HY-WDS6E – использовали для замера таких параметров, как скорость воздуха, его температура, влажность и атмосферное давление.

При определении дисперсного состава пыли в воздухе использовали фильтры АФА-ВП-10 и АФА-ВП-20, навеска пыли на одном фильтре не должна превышать

2 мг [18]. Для анализа дисперсного состава мелких частиц PM10 и PM2,5 в воздухе, запыленный газ отбирались объемом запыленного воздуха 0,25 дм³/мин в течение не менее 40 минут. Отбор проводили на высоте 1,5 м, серией из 5-6 замеров. Хранение проб не превышало двух дней.

Для исследования размеров пылевых частиц, выделяемых во время технологических процессов, применяли цифровой микроскоп Levenhuk D450L LCD 7. Этот метод включал фотографирование увеличенных в 200-2000 раз образцов пыли с помощью микрофото-приставки и компьютерной программы «DUST1» [85]. Затем анализировали дисперсность частиц и определяли их концентрацию в воздухе рабочей зоны при реализации строительного процесса в мг/м³. Этот подход позволял классифицировать пыль по дисперсному составу.

Метод микроскопии не только устанавливает размеры и количество пылевых частиц, но и дает возможность изучить их структуру и получить микрофотографии.

Для проведения анализа дисперсного состава пыли потребовалось использовать специальные химические вещества, применяемые при подготовке образцов для изучения отфильтрованной с фильтра пробы пыли по ее дисперсному составу. Методика включает в себя определение размеров частиц пыли, размерами от 0,1 до 250 мкм. Количество снимков, необходимых для анализа, зависит от разнообразия размеров частиц пыли. Для захвата изображений с камеры и последующей их обработки использовали программное обеспечение «Bandicam 2.1.0.707».

Следующим шагом стало создание снимков на цифровом фотоаппарате. Обработку материала после съемки с цифрового фотоаппарата проводили при помощи графического пакета Adobe Photoshop затем данные со снимков анализировали в программном комплексе «SPOTEXPLORER V1.0» для определения формы, размеров и количества частиц.

В ходе анализа пылевых частиц были выполнены различные этапы исследования. Сначала была проведена визуализация данных через построение интегральных и дифференциальных кривых, которые показывали состав частиц

разных размеров. Затем шел этап изучения зависимости плотности частиц от их диаметра и определения динамических характеристик формы частиц. В процессе анализа учитывали корреляционные связи между различными характеристиками и геометрические параметры частиц. Это позволило получить данные для расчета ковариационного сечения функции прохода частиц. На графике интегральных функций для каждой точки (диаметра) указано, какую массовую долю составляют все частицы, у которых эквивалентный диаметр не достигает заданного размера значения диаметра.

В соответствии с принятыми рекомендациями, допустимая погрешность при измерениях была до $\pm 15\%$ [86]. Различные факторы могут влиять на погрешность измерений: 10% – отбор проб, 5% – точность средств измерений, и 4 % – ошибка при интерпретации данных и выборе области для анализа. Для оценки систематической погрешности необходимо учитывать сумму числовых значений на разных этапах процедуры анализа состава пыли, каждая серия 5-6 опытов разбивалась для повторности измерений на 3 и 3. Процессы передачи измерительной информации и обработки данных были автоматизированы с использованием компьютерных программ «DUST1», «SPOTEXPLORER V1.0», что позволило минимизировать погрешности. На рисунке 2.6 представлены микрофотографии частиц пыли больших и малых размеров, собранных на исследуемой территории [169].

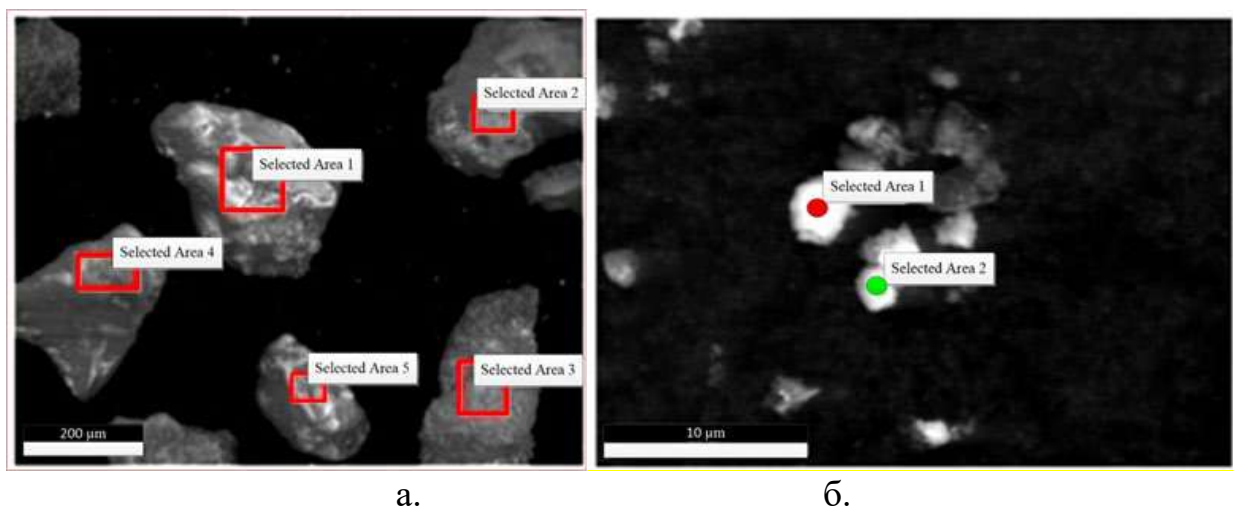


Рисунок 2.6 – Микрофотографии пыли, собранной в рабочей зоне на строительной площадке: а – частиц диаметром более 100 мкм; б – частицы диаметром менее 10 мкм

Анализ данных, собранных в ходе экспериментов на строительной площадке, выявил, что дисперсный состав строительной пыли в большинстве случаев можно охарактеризовать как усеченное логарифмически-нормальное распределение. Исследования показали, что наилучшее представление интегральных функций распределения для строительной пыли на вероятностно-логарифмической сетке. Эти выводы подкрепляются графиками интегральных функций распределения массы частиц по диаметрам. На рисунках 2.7-2.10 представлены примеры интегральных функций распределения массы частиц по диаметрам для всех уровней источников пылевыведения.

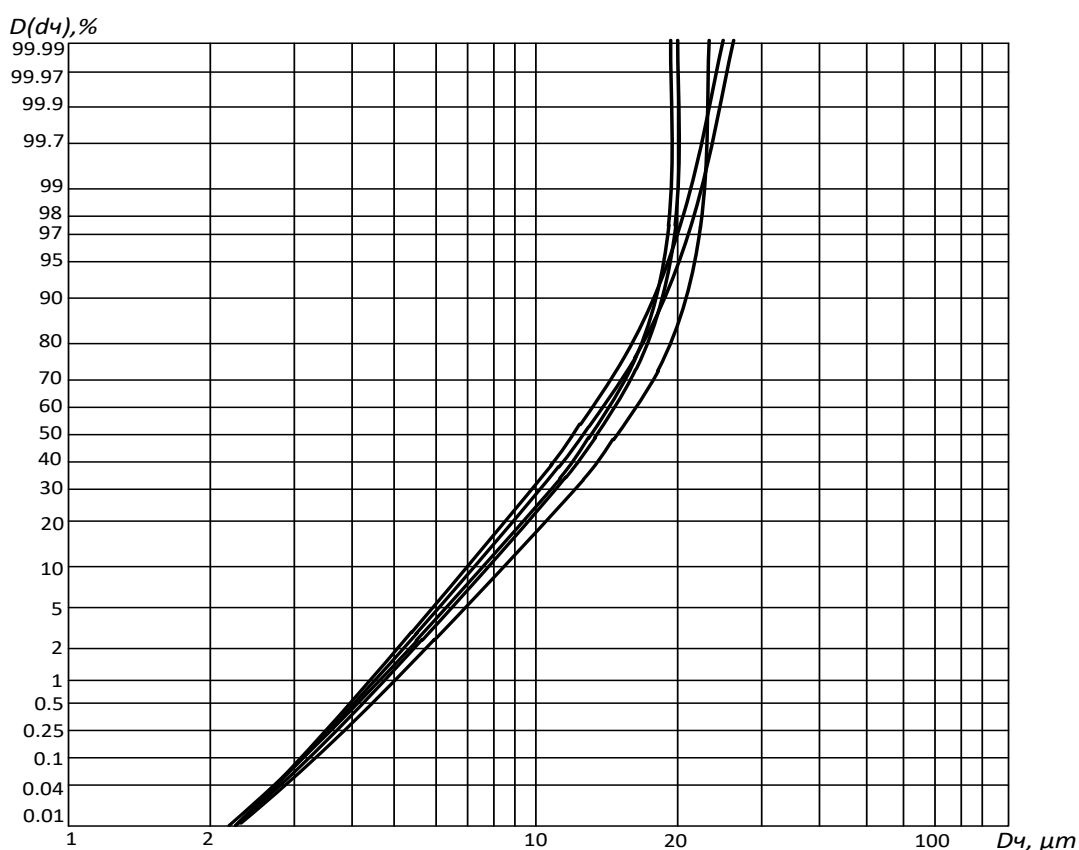


Рисунок 2.7 – ИФРМЧЭД для сильно пылящих процессов

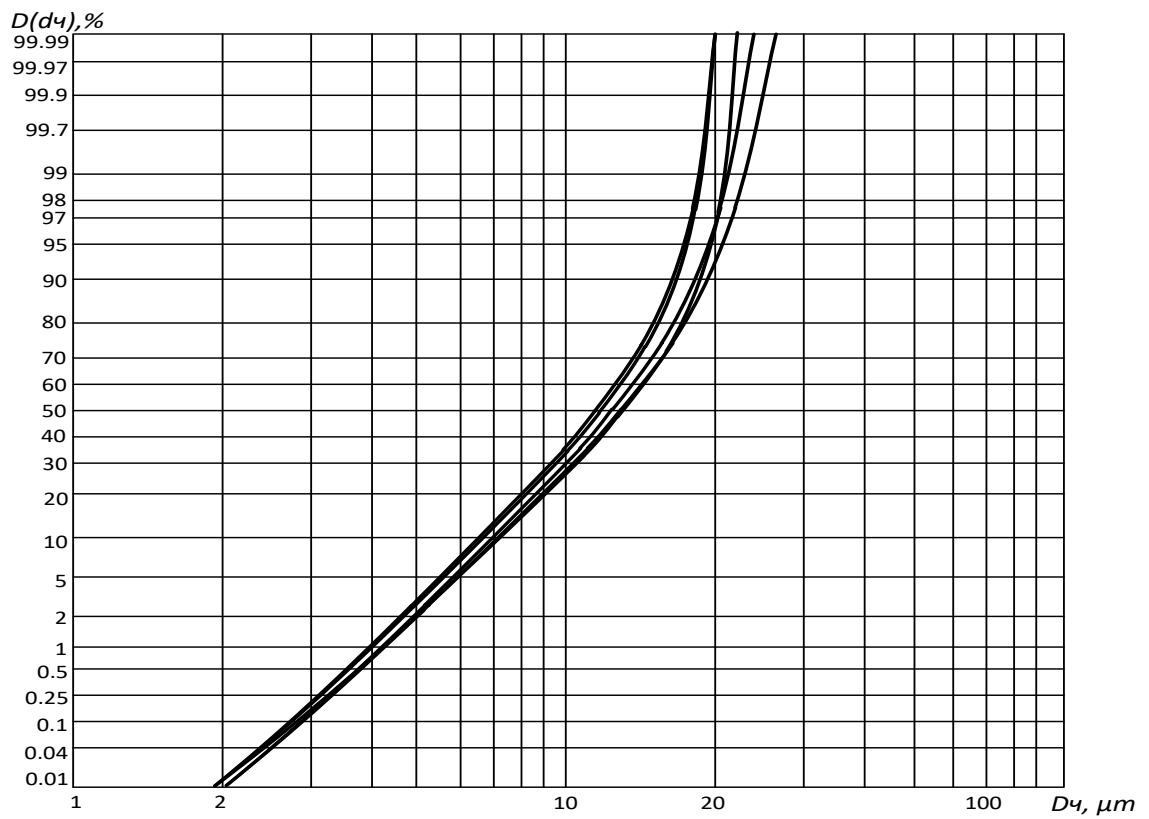


Рисунок 2.8 – ИФРМЧЭД для умеренно пылящих строительных процессов

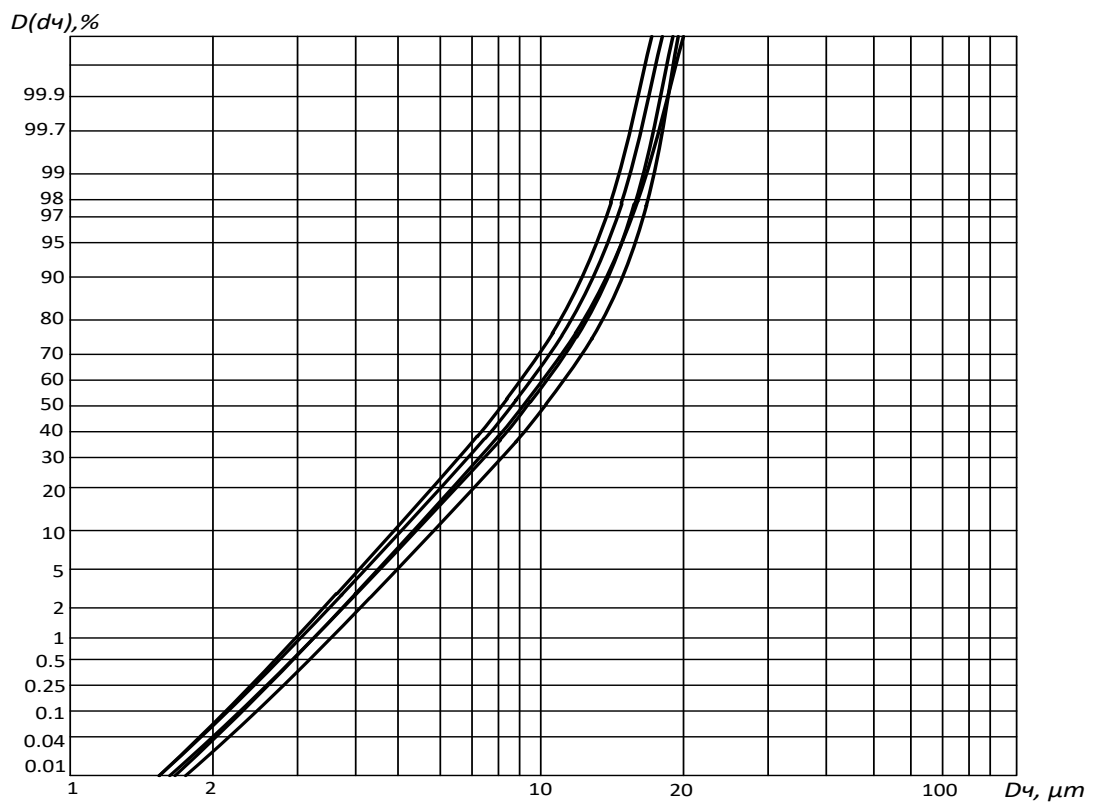


Рисунок 2.9 – ИФРМЧЭД для средне пылящих строительных процессов

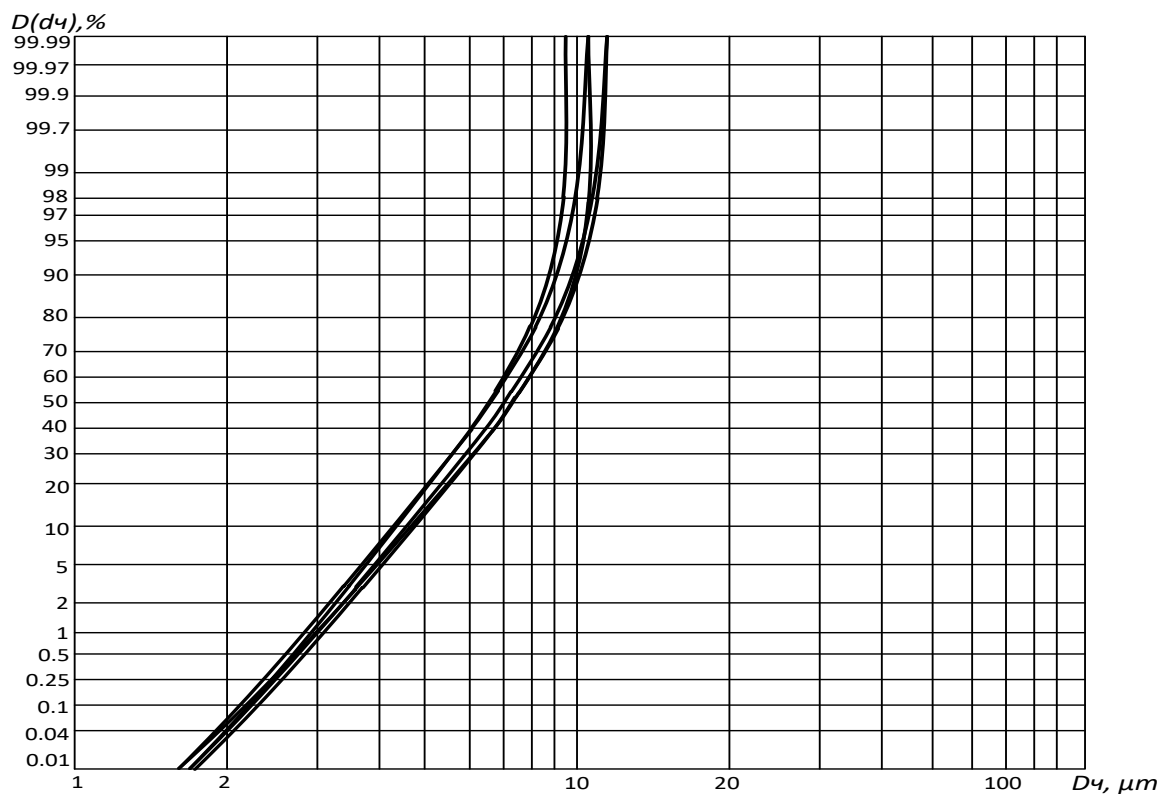
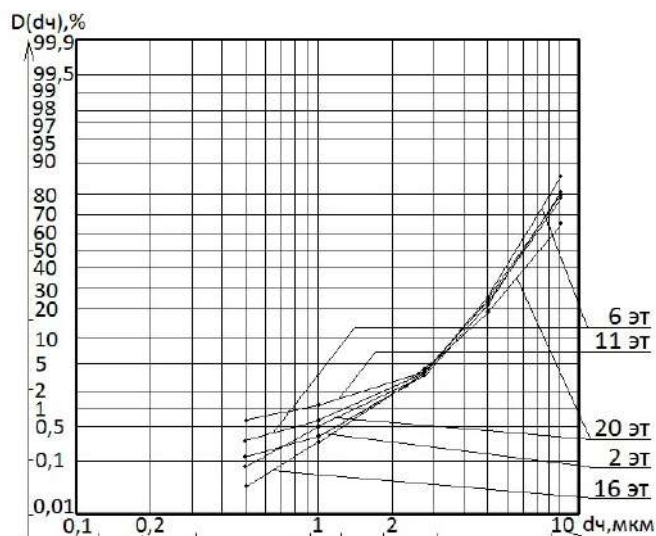
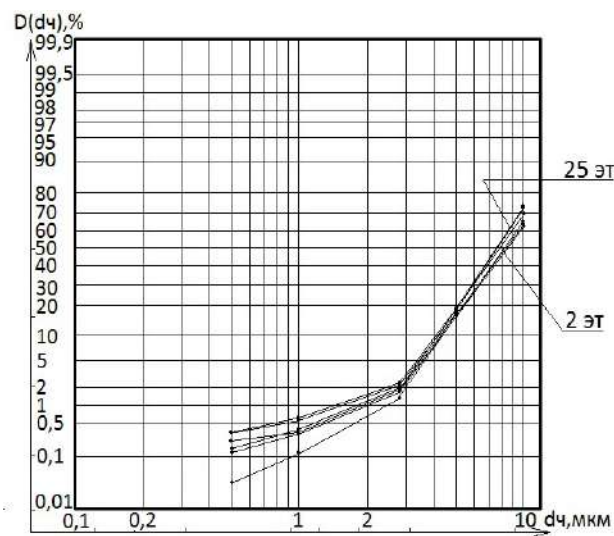


Рисунок 2.10 – ИФРМЧЭД для слабо пылящих строительных процессов

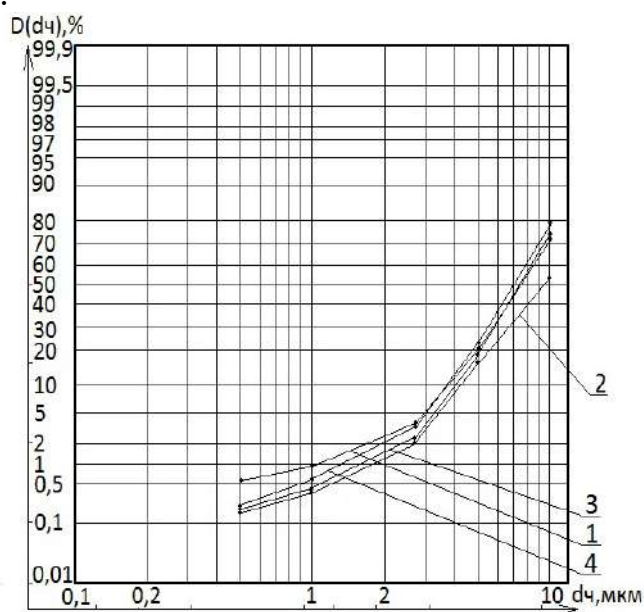
Одной из важных характеристик пылевого загрязнения воздушной среды является не только концентрация твердых взвешенных частиц, но и дисперсный состав мелкодисперсной пыли $PM_{0,5}$ - PM_{10} . Результаты наших исследований дисперсного состава мелкодисперсной пыли в воздухе в летний период представлены на рисунках 2.11 и табл. 2.7 [169].



а.



б.



в.

Рисунок 2.11 – ИФРМЧЭД для PM0,5-PM10 в летний период: а – 20-этажный дом с ремонтно-строительными работами; б – 25-этажный жилой дом рядом со строительной площадкой; в – строительная площадка с объектом строительства

Таблица 2.7 – Результаты дисперсного состава PM0,5-PM10 в летний период

Наименование объекта исследования	Место отбора проб		PM0,5-PM10		
	Этаж	Контрольная точка отбора	лето		
			(d ₅₀), мкм	(d _ч)	
25-этажный жилой дом рядом со строительной площадкой				мкм	%
	2	внутри	7,5	9-10	50-60
	6	внутри	7,6	9-10	50-60
	11	внутри	7,6	9-10	50-60
	16	внутри	8	9-10	60-70
	21	внутри	8	9-10	60-70
	25	внутри	8,4	9-10	70-80

Продолжение таблицы 2.7

Строительная площадка с объектом строительства	1	1 - снаружи	7,3	9-10	70-80
	1	2- снаружи	9,4	9-10	50-60
	1	3- снаружи	7,3	9-10	70-80
	1	4- снаружи	7	9-10	70-80
20-этажный дом с ремонтно-строительными работами	2	внутри	6,3	9-10	70-80
	6	внутри	7,2	9-10	70-80
	11	внутри	8,2	9-10	70-80
	16	внутри	8,2	9-10	70-80
	20	внутри	8,2	9-10	60-70

Проведенный анализ дисперсного состава пыли в воздухе жилых помещений на 1-м этаже, рисунок 2.12, и 3-м этаже, рисунок 2.13, показал не только различия концентрации пыли, но и крупность частиц. Так, для помещений 1-го этажа диапазон изменения диаметров частиц составляет от 1,2 мкм до 11 мкм с медианным диаметром $d_{50} = 7,9$ мкм. Наиболее распространенные размеры пыли (согласно интегральным функциям распределения) находятся в диапазоне от 8,7 мкм до 11 мкм.



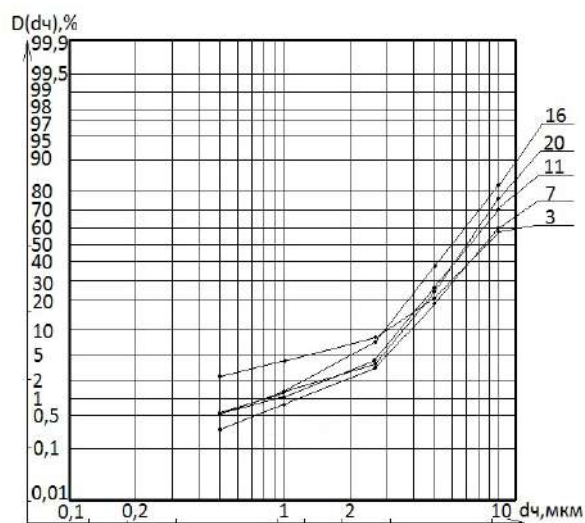
Рисунок 2.12 – Фотография образца пыли №1 в воздухе жилых помещений 2-го этажа вблизи точечной застройки



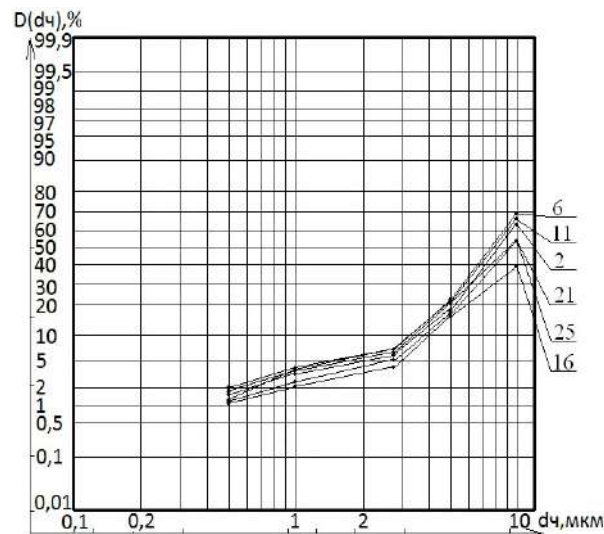
Рисунок 2.13 – Фотография образца пыли №2 в воздухе жилых помещений 3-го этажа вблизи точечной застройки

Результаты дисперсного состава пылевых частиц PM_{0,5}-PM₁₀ в зоне точечной застройки в зимний период, представлен в таблице 2.8 и на рисунке 2.14.

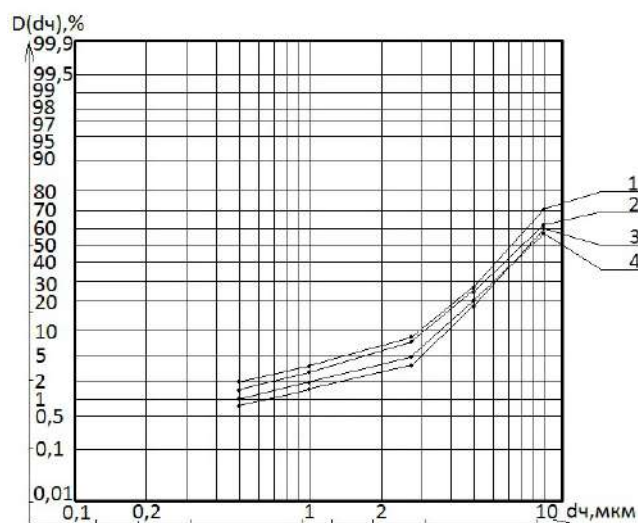
Наименование объекта исследования	Место отбора проб		PM _{0,5} -PM ₁₀		
	Этаж	Контрольная точка отбора	зима		
			(d ₅₀), мкм	(d _q)	
25-этажный жилой дом рядом со строительной площадкой	2	внутри	7,5	9-10	50-60
	6	внутри	7,5	9-10	60-70
	11	внутри	7,8	9-10	70-80
	16	внутри	8,2	9-10	40-50
	21	внутри	8,4	9-10	50-60
	25	внутри	8,4	9-10	50-60
Строительная площадка с объектом строительства	1	1 - снаружи	7,3	9-10	70-80
	1	2- снаружи	9,4	9-10	70-80
	1	3- снаружи	7,3	9-10	70-80
	1	4- снаружи	7	9-10	70-80
20-этажный дом с ремонтно-строительными работами	2	внутри	6,3	9-10	70-80
	6	внутри	8,2	9-10	50-60
	11	внутри	8,3	9-10	70-80
	16	внутри	8,2	9-10	70-80
	20	внутри	8,2	9-10	70-80



а.



б.



в.

Рисунок 2.14 – ИФРМЧЭД для РМ_{0,5}-РМ₁₀ в зимний период: а – 20-этажный дом с ремонтно-строительными работами; б – 25-этажный жилой дом рядом со строительной площадкой; в – строительная площадка с объектом строительства

Анализ дисперсного состава и особенностей распространения пыли в воздушной среде на исследуемых объектах в зоне точечной застройки в Ростове-на-Дону представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты дисперсного состава пыли в воздухе зоны точечной застройки

	РМ _{0,5}		РМ ₁		РМ _{2,5}		РМ ₅		РМ ₁₀	
	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима
(d _ч), %	0,2-0,5	0,7-2	0,4-0,9	1,4-4	2-3	3-8	15-22	18-27	51-80	57-70

Исследование показало, что в зимний период концентрация мелких частиц PM_{0,5}-PM₁₀ в воздухе жилых зон с точечной застройкой превышает летние показатели. В таблице 2.10 приведена информация о концентрации частиц пыли PM_{2,5} и PM₁₀, в атмосферном воздухе района точечного строительства с марта по август 2022 года.

В период строительных работ, сопровождавшихся значительным пылевыделением, исследование показало, что однократные показатели загрязнения воздуха частицами PM₁₀ в жилой зоне вблизи стройплощадки превысили установленные нормы (0,3 мг/м³) на 60-74% [9]. Визуальный контроль показал, что более 50% времени, когда было зафиксировано это превышение приходится на движение транспорта, занимающегося вывозом и завозом строительных материалов и грунта, перемещаемого в места рекультивации. Также в течение года было зафиксировано четыре основных периода высокого уровня загрязнения: в марте, апреле, июле и августе [73].

Таблица 2.10 – Максимально разовая концентрации PM_{2,5} и PM₁₀ в воздухе жилой зоны, прилегающей к строительной площадке

Показатели максимально разовой концентрации, мг/м ³								
	PM _{2,5}	PM ₁₀		PM _{2,5}	PM ₁₀		PM _{2,5}	PM ₁₀
Март	0,17	0,49	Апрель	0,13	0,45	Май	0,13	0,46
	0,18	0,67		0,15	0,47		0,14	0,49
	0,18	0,67		0,16	0,5		0,13	0,46
	0,13	0,54		0,16	0,61		0,13	0,48
	0,16	0,5		0,18	0,62		0,13	0,47
	0,14	0,5		0,18	0,62		0,14	0,46
	0,14	0,52		0,18	0,67		0,15	0,52
	0,15	0,5		0,14	0,56		0,15	0,49
Июнь	PM _{2,5}	PM ₁₀	Июль	PM _{2,5}	PM ₁₀	Август	PM _{2,5}	PM ₁₀
	0,13	0,45		0,15	0,5		0,15	0,49
	0,13	0,47		0,15	0,5		0,15	0,5
	0,15	0,5		0,16	0,61		0,18	0,61
	0,13	0,45		0,16	0,61		0,18	0,61
	0,13	0,47		0,16	0,6		0,13	0,61
	0,15	0,5		0,18	0,67		0,12	0,65
	0,14	0,5		0,17	0,6		0,17	0,59
	0,14	0,52		0,18	0,5		0,18	0,5

В марте это было связано с демонтажными работами, в апреле – с работами по грунту и его уплотнению, в июле – со сварочными работами на армокаркасе для фундамента, а в августе – с засыпкой и уплотнением грунта после завершения основных строительных этапов, рисунок 2.14.

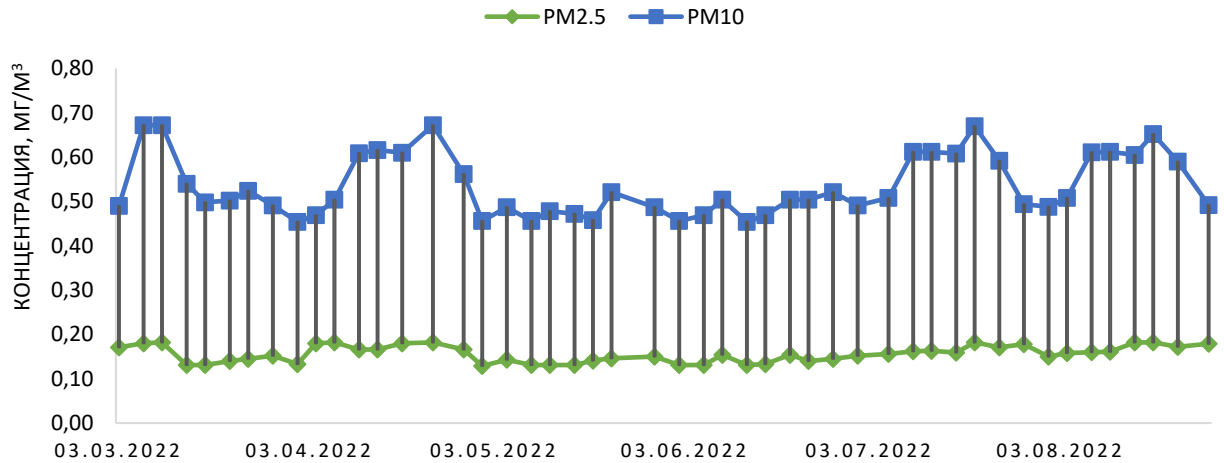


Рисунок 2.15 – Примеры значений максимально разовой концентрации PM2,5 и PM10, измеренной в воздухе жилой зоны, прилегающей к строительной площадке

Исследование концентрации частиц PM10 в атмосфере рядом с стройплощадкой показало их колебания. В период строительных работ, включая земляные и сварочные операции, загрязнения воздуха частицами PM2,5 и PM10 достиг опасных уровней, превысив установленные нормы. Средняя максимально разовая концентрация PM10 во время исследования составила $0,53 \text{ мг/м}^3$, что на 76% выше допустимого предела для таких работ. Наиболее высокие значения, до $0,7 \text{ мг/м}^3$, были зарегистрированы в конце апреля и июля, а также в начале апреля, мая и июня, где показатели были около $0,45 \text{ мг/м}^3$. В частности, пиковые показатели PM2,5 во время смены составили $0,18 \text{ мг/м}^3$ при норме в $0,16 \text{ мг/м}^3$, а средние показатели во время всех строительных работ были на уровне $0,15 \text{ мг/м}^3$. Эти данные подтверждают серьезное превышение уровней загрязнения в период активных строительных работ. Таким образом, становится очевидной необходимость усиленного экологического контроля за качеством воздуха в зонах активного строительства, а также принятия строительными компаниями специальных мер для минимизации этого воздействия на окружающую среду и защиты здоровья населения от вредных воздействий загрязненного воздуха.

2.3 Исследование закономерностей распределения пыли по высоте

В рамках исследования распространения пылевых выбросов на строительной площадке и близлежащей территории было выполнено детальное изучение вертикального распределения пыли при пылевыделениях во время точечного строительства. На протяжении года были проведены исследования в зоне точечной застройки в жилом комплексе «Екатерининский» в Ростове-на-Дону, охватывающие разные сезоны. Цель этих исследований заключалась в изучении и анализе распределения частиц мелкодисперсной пыли по высоте, где эквивалентные диаметры частиц варьировались от PM_{0,5} до PM₁₀.

Предположим, что на любой высоте z через каждый квадратный сантиметр горизонтального сечения столба атмосферы проходит вверх $A \times \frac{ds}{dz}$ частиц и падает под действием силы тяжести $c\rho s$ частиц, где A – коэффициент обмена воздуха ($\text{г} \times \text{см}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$); ρ – плотность воздуха, примерно равная 10^{-3} г/см^3 ; s – число частиц в единице массы воздуха. В состоянии равновесия сил $A \times \frac{ds}{dz} = -c\rho s$ и, следовательно,

$$s = s_0 e^{-\frac{\rho c}{A} \times z} = s_0 \times 10^{-0,43 \frac{\rho c}{A} \times z}. \quad (2.3)$$

Формула (2.3) показывает, что число частиц в единице массы воздуха уменьшается с увеличением высоты. В действительности коэффициент обмена A не является константой и значительно возрастает с высотой, особенно на протяжении нескольких первых метров от земли. Можно считать, что в самом нижнем слое атмосферы $A = A_1 z^{6/7}$ [173].

В ходе экспериментов, для определения значений s применялись постоянные коэффициенты обмена A , которые отражали условия свободной атмосферы. Измерения производились на разной высоте – от 1 см до 80 м, что соответствует строящемуся 25-этажному дому, представляет собой примерно максимальную высоту зданий в данном регионе. Для измерений использовали портативный счётчик частиц Handheld 3016. Выборка данных происходила на каждом десятом

метре, что соответствовало уровням каждого третьего этажа от 1 до 25. Такие измерения проводили на одних и тех же местах, от 8 до 12 раз каждые две недели.

Проведенные замеры характеристик мелкодисперсной пыли PM_{0,5}-PM₁₀ подтвердили тенденцию к уменьшению концентрации пыли с ростом высоты. В таблице 2.11 указано среднее число и диапазоны изменения количества частиц в объеме 1 см³ на разных высотах для зимнего и летнего периодов, минимальные и максимальные значения количества частиц. В таблице 2.12 приведены минимальные, средние и максимальные значения частиц в объеме 1 см³ на разных высотах для различных диапазонов PM_i. При этом измерения, проведенные на этих же высотах (этажах) во время проведения отделочных работ, показали, что влияние на запыленность в зоне проведения работ у технологического процесса (отделочные работы) влияют неизмеримо в большей степени, чем фоновое загрязнение. В летнее время число частиц по высотам показывает высокое значение у поверхности земли, которая быстро падает с увеличением высоты и не демонстрирует значительных колебаний. Зимой, при активной конвекции, установить четкую зависимость между высотой и концентрацией пыли сложнее: у земли пыли меньше, и её концентрация уменьшается медленнее по сравнению с зимним периодом.

Таблица 2.11 – Сравнение содержания числа частиц PM_{0,5}–PM₁₀ в 1 см³ воздуха при строительных работах и их отсутствии

Высота, м	Летний период 2019 г.				Зимний период 2019/2020 гг			
	Содержание частиц пыли, 1/ см ³				Содержание частиц пыли, 1/ см ³			
	работы отсутствуют		с отделоч. работами		работы отсутствуют		с отделоч. работами	
	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения
0,1	98	21-183	176	60-250	19	1-82	34	10-92
1	98	20-188	177	65-255	19	1-84	34	10-84
5	94	25-182	150	62-244	18	1-82	32	10-82
10	89	24-180	162	59-265	18	1-82	30	10-82
20	84	24-182	172	62-252	16	1-82	36	10-82
30	78	25-178	159	58-255	15	1-80	33	10-83
40	72	26-177	168	60-245	14	1-73	35	10-77
50	68	28-169	168	63-254	13	1-69	32	10-89
60	64	30-157	170	64-252	12	1-57	34	10-87
70	63	30-132	158	52-245	12	1-43	32	10-83
80	53	33-105	165	62-252	11	1-39	33	10-89

Таблица 2.12 – Содержание частиц диапазона PM_{0,5}–PM₁₀ в 1см³ воздуха

Высота, м	Число частиц в диапазонах PM _i – PM _{i+1}														
	0-PM _{0,5}			PM _{0,5} -PM ₁			PM ₁ – PM _{2,5}			PM _{2,5} -PM ₅			PM ₅ – PM ₁₀		
	мин. знач.	ср. знач.	макс. знач.	мин. знач.	ср. знач.	макс. знач.	мин. знач.	ср. знач.	макс. знач.	мин. знач.	ср. знач.	макс. знач.	мин. знач.	ср. знач.	макс. знач.
0,1	62	84	95	41	72	89	18	55	78	8	42	74	2	18	56
1	11	63	89	11	45	76	2	23	56	1	13	48	–	2	24
5	4	51	77	6	31	67	1	12	42	–	4	34	–	1	13
10	2	44	69	2	24	63	–	7	36	–	3	27	–	–	8
20	1	28	63	1	18	59	–	5	29	–	1	18	–	–	5
30	1	28	60	1	17	56	–	4	27	–	–	16	–	–	4
40	1	26	56	–	16	54	–	4	25	–	–	15	–	–	3
50	–	24	54	–	14	52	–	3	23	–	–	14	–	–	3
60	–	22	52	–	13	50	–	2	21	–	–	12	–	–	2
70	–	22	55	–	12	48	–	1	20	–	–	11	–	–	2
80	–	22	55	–	12	47	–	1	19	–	–	10	–	–	2

Расчеты с применением формулы Стокса с корректирующим коэффициентом Каннингема (2.3) показали, что при стабильном обменном коэффициенте $A = 50 \text{ г} \times \text{см}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$ количество частиц в диапазоне PM_{0,5}-PM₁₀ убывает в 1,51-2,5 раз при этом результаты реальных замеров показали, что убывание среднего числа частиц по высоте в 3,7-7,7 раза [33]. При этом отметим, что эти же показатели при ведении на этажах отделочных работ колеблются в диапазоне не более 30% от данных 1-го этажа.

В условиях плотной городской застройки, когда воздух неподвижен при строительстве наблюдается значительное снижение уровня пыли PM_{0,5}-PM₁₀ вблизи земной поверхности, где уже на высоте 5 м концентрация PM₁ снижается до 4%. Тем не менее, повышение скорости ветра может способствовать более равномерному распределению пыли в вертикальном направлении.

В анализе, представленном на рисунке 2.16, рассмотрено, как вертикальное распределение пыли после завершения утренних ремонтно-строительных работ на 18-этаже влияет на качество воздуха при ясной, безветренной погоде изменяется с течением времени.

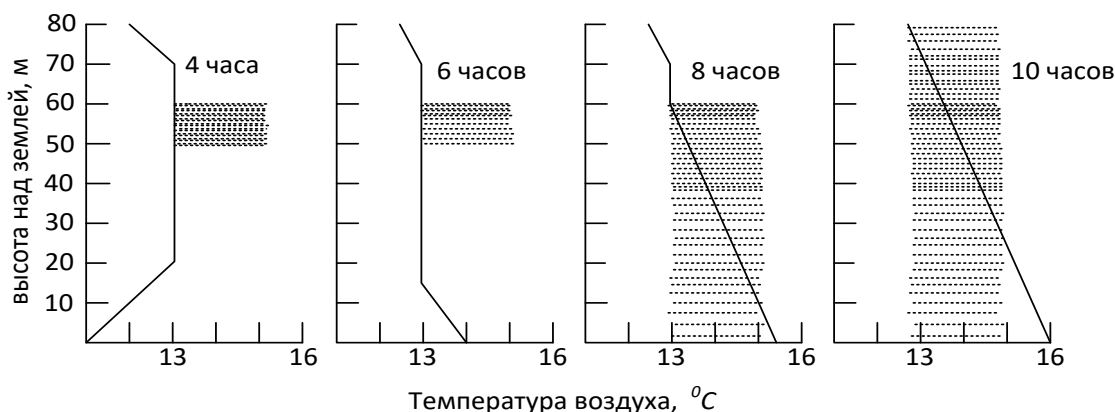


Рисунок 2.16 – Динамика оседания частиц пыли в стесненной городской застройке при производстве ремонтно-строительных работ на 18 этаже

Когда в атмосферу точечной застройки опускаются тяжелые плотные массы, пыль стремительно оседает, резко повышая уровень загрязненности воздуха у поверхности земли в окружающей области. Поток воздуха способствует рассеиванию пыли в атмосфере, это приводит к снижению концентрации пыли в приземном слое. Рисунок 2.16 также демонстрирует, как пробы воздуха, взятые на различных расстояниях и высотах от источника пылевыведения, фиксируют повышение уровня загрязнения, подчеркивая важность исследования вертикального распределения и динамики пыли.

Наиболее высокая концентрация загрязняющих веществ в воздухе приходится на высоту 1-1,5 м и составляет около 2,5 ПДКр.з. Уровень загрязнения 1-3-го этажей 25-этажных домов, расположенных вблизи от рабочего места производимых работ – до 35-50 м составляет 0,5 ПДКр.з. На высоте 33 м – уже 0,2 ПДКр.з. На высоте более 33 м пылевое загрязнение – от 0,1 до 0,01 ПДКр.з. Различие загрязнения нижних этажей зданий 1 эшелона и верхних этажей высотных зданий, расположенных в районе строительства, составляет два порядка.

Пылевые частицы размером свыше 10 мкм достаточно быстро оседают. Частицы, размером 0,25-10 мкм медленно оседают. Ультрамикроскопическая частица размером менее 0,25 мкм имеет скорость оседания (витания) близкую к 0, поэтому подчиняется законам броуновского движения.

2.4 Выводы по главе 2

1. Проведенный анализ технологических процессов при строительстве позволил классифицировать источники и выделить основные. Проведены экспериментальные исследования с целью определения валового и максимально разового выбросов пыли, ее химический состав. Для технологических процессов характерных для точечного строительства проведены на реальных объектах натурные исследования запыленности воздушной среды на строительной площадке в зоне влияния источников пыления (технологические процессы).

2. В результате исследования определены 4 основных периода жизненного цикла строительства, характеризующиеся максимальными значениями содержания в воздухе частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} , превышающих ПДК в воздухе близлежащей жилой зоны: период демонтажных работ, земляные работы и уплотнение грунта, сварочные работы на армокаркасе для фундамента и засыпки и уплотнение грунта после завершения основных строительных этапов.

3. Натурные замеры дисперсного состава пыли в воздухе близлежащей территории при точечной застройке показали, что частицы размером более 10 мкм практически отсутствуют, а для 95% замеров не превышают 10 мкм. Поэтому важно ограничить концентрацию частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздухе на строительной площадке. Для технологических процессов строительства был определен дисперсный состав пыли в воздухе, в рабочих зонах на стройплощадке в том числе исследовано его изменение по высоте. На основании дисперсного состава и прямых измерений получены интегральные функции изменения массы частиц $PM_{0,5}$ - PM_{10} по эквивалентным диаметрам.

4. Анализ дисперсного состава пыли, отобранной в воздухе объектов строительства в г. Ростове-на-Дону в ЖК «Екатерининский», показал следующее:

- диапазон концентраций фракций пыли PM_{10} в воздухе вокруг строительных объектов в летний период составляет 51-80% от общей массы;

диапазон концентраций фракции пыли PM10 в воздухе в зимний период составляет 57-70% от общей массы;

- рассеивание фракции пыли PM5 вокруг строительных объектов в летний период составляет 15-22% от общей массы, а диапазон изменения концентрации фракции пыли PM5 в зимний период – 18-27% от общей массы;

- распространение фракции пыли PM2,5 в воздухе вблизи строительных объектов летом составляет 2-3% от общей массы, а диапазоны изменения концентрации фракции пыли PM2,5 в воздухе в зимний период – 3-8% от общей массы;

- летом концентрация пыли в распределении PM1 в воздухе вблизи строительных объектов изменяется от 0,4% до 0,9% от общей массы, а зимой диапазоны изменения концентрации пыли в распределении PM1 варьируются от 1,4% до 4% от общей массы;

- доля частиц размером PM0,5 в общем весе может достигать от 0,7% до 2% зимой, в то время как летом этот показатель колеблется от 0,2% до 0,55%;

- исследование показало, что в зимний период концентрация мелких частиц PM0,5-PM10 в воздухе жилых зон вблизи с точечной застройкой значительно превышает летние показатели.

5. Наиболее высокая концентрация загрязняющих веществ в воздухе приходится на высоту 1-1,5 м и составляет около 2,5 ПДКр.з. Уровень загрязнения 1-3-го этажей 25-этажных домов, расположенных вблизи от рабочего места производимых работ – до 35-50 м составляет 0,5 ПДКр.з. На высоте 33 м – уже 0,2 ПДКр.з. На высоте более 33 м пылевое загрязнение – от 0,1 до 0,01 ПДКр.з. Различие загрязнения нижних этажей зданий 1 эшелона и верхних этажей высотных зданий, расположенных в районе строительства, составляет два порядка.

ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ В АТМОСФЕРУ ПРИ ТОЧЕЧНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

3.1 Интегральная функция дисперсного состава пыли как случайная функция

Исследование дисперсного состава пыли на строительной площадке показало значительные колебания в размерах частиц, превышающие статистические погрешности измерений [85, 86]. Эти колебания вызваны не только условиями работы, но и метеорологическими условиями, например, влажностью и скоростью ветра. Поэтому при изучении дисперсного состава частиц пыли, образующихся во время строительных работ, целесообразнее использовать модели, основанные на случайных процессах, а не на строгих детерминированных подходах. Это подчеркивает, что наблюдаемые изменения в дисперсном составе пыли отражают естественные причины, а не ошибки при измерениях.

На рисунке 3.1 представлены примеры интегральных функций распределения о дисперсном составе пыли, полученные во время исследования концентрации пыли в одной контрольной точке жилой зоны вблизи точечного строительства. Изучаемую функцию $D(d_{\psi})$ рассмотрим, как случайный процесс, изменяющуюся в некотором диапазоне значений для каждого аргумента $D(d_{\psi})$. Эти функции в каждом конкретном измерении выступают в качестве детерминированных траекторий или реализаций случайного процесса для $D(d_{\psi})$. Основываясь на анализе данных о дисперсном составе пыли в одной контрольной точке, отобранных 64 проб при одной технологической операции – подготовка бетонной смеси и устройство фундамента, построим случайные функции плотности распределения значений $D(\psi) = 2,5$ мкм и $D(\psi) = 10$ мкм, рисунок 3.2, т.е. в точках $D(\psi) = 2,5$ мкм и $D(\psi) = 10$ мкм, которые являются характерными размерами частиц анализируемой пыли.

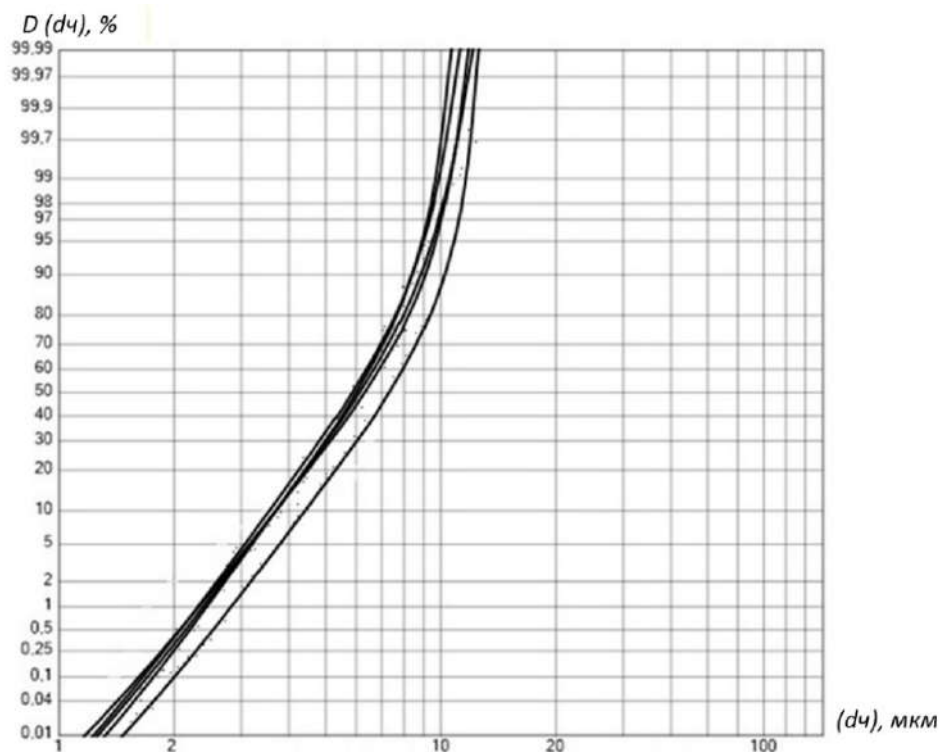


Рисунок 3.1 – Диапазон изменения интегральной функции распределения массы частиц пыли по эквивалентным диаметрам в воздухе жилой зоны при технологической операции – устройство фундамента

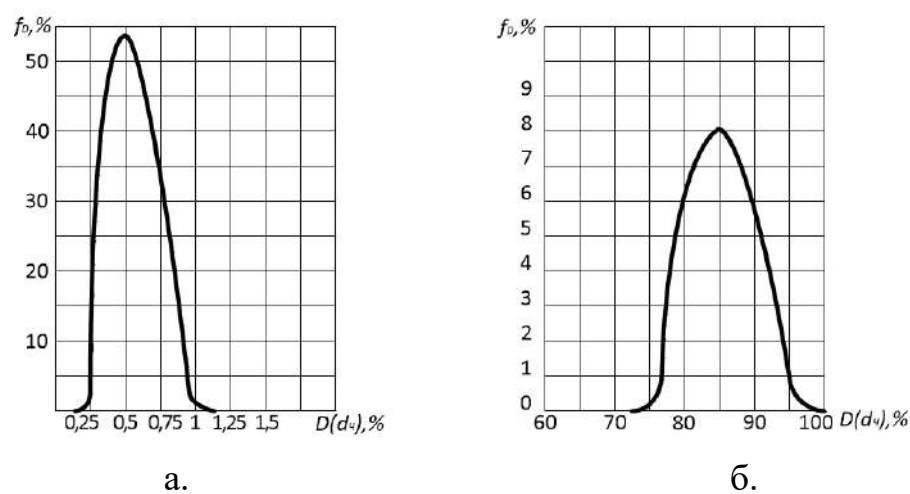


Рисунок 3.2 – Дифференциальная функция распределения значений интегральной функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам в воздухе близлежащей территории к точечной застройке при фиксированных диаметрах частиц: а – $d_ч = 2,5$ мкм; б – $d_ч = 10$ мкм при технологической операции – устройство фундамента

В воздушной среде одним из ключевых показателей состояния пылевой загрязненности является интегральная концентрация пыли $C(d_ч)$. Этот показатель

отражает общую массу частиц, размер которых не превышает $d_{\text{ч}}$. Его можно описать как случайную функцию, которая представлена на рисунке 3.3.

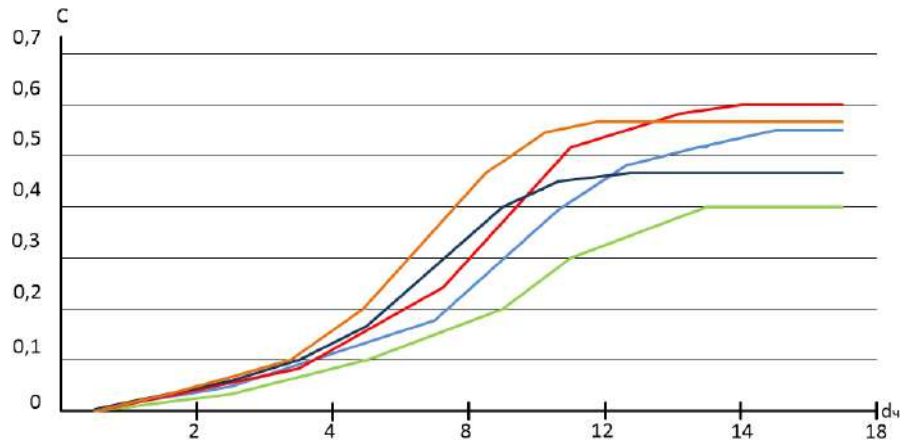


Рисунок 3.3 – Функция интегральной концентрации пыли, отобранной в воздухе различных зон строительных работ

В качестве примера приведем диапазоны изменения интегральных концентраций до начала строительства (рисунок 3.4) и в период строительства (рисунок 3.5) при проведении бетонных работ.

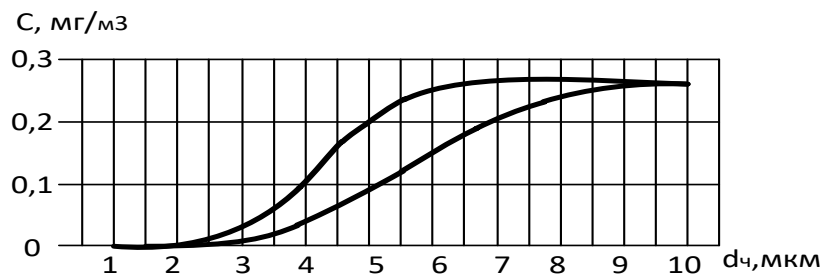


Рисунок 3.4 – Диапазоны изменения интегральных функций концентрации пыли при штукатурных работах в воздухе жилой зоны

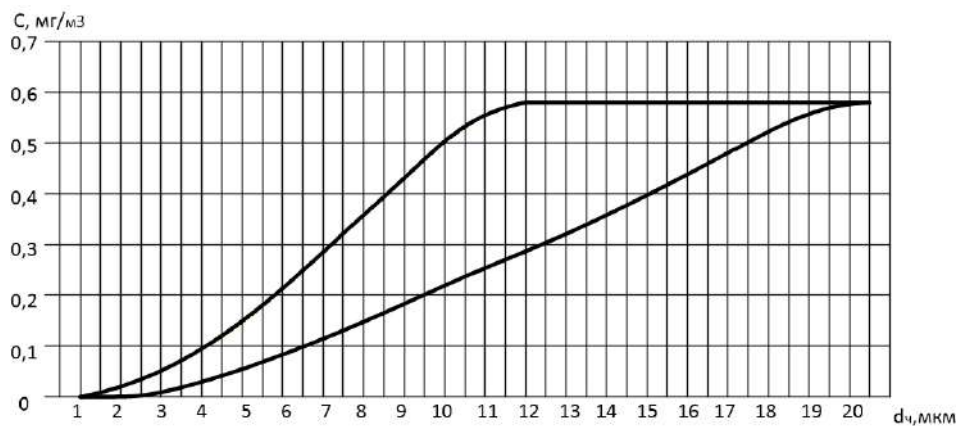


Рисунок 3.5 – Диапазоны изменения интегральных функций концентрации пыли при земляных работах в воздухе жилой зоны

Часто в анализе дисперсного состава пыли используется подход, где $C(d_q)$ представляется как результат умножения случайной общей концентрации пыли C_0 на функцию прохода $D(d_q, \omega)$, которая изменяется в зависимости от разных переменных [1]. Такой способ оценки приобретает значительную важность при работе с измерениями уровней частиц PM10 и PM2,5, воспринимаемых как переменные со случайным характером:

$$C(d_q) = C_0 D(d_q, \omega). \quad (3.1)$$

Применение этого подхода позволяет рассчитывать вероятностные характеристики распределения пыли в атмосфере, определить другие важные параметры, которые нужны для оценки уровня загрязнения воздуха твердыми взвешенными веществами. Особое значение приобретает расчет вероятности превышения нормативов как для общей концентрации, так и для мелкодисперсной пыли.

В зоне точечного строительства уровни концентрации пыли в атмосфере могут варьироваться, иногда превышая установленные стандарты для общей концентрации, частиц PM10 и PM2,5. В контексте статистических исследований, часто используемые методы могут сглаживать пики превышающих значений и их не всегда можно увидеть. Тем не менее, существуют разработанные теории экстремумов, которые можно адаптировать для анализа или прогнозирования этих превышений [85]. Используя данные функции, можно вычислить вероятность того, что уровни загрязнения превысят нормативные пороги.

Важно удостовериться, что в ходе проведения статистических исследований не фиксируются повторные превышения установленного нормативного уровня $C_{норм}$ на протяжении двух и более последовательных дней, так как необходимо избегать серий превышений. Кроме того, важным аспектом является достаточно большой временной интервал между зафиксированными превышениями, что способствует обеспечению независимости максимальных значений в различных интервалах. В подобных ситуациях использование пуассоновской модели для описания распределения превышений может эффективно соответствовать наблюдаемым данным [8].

Необходимо рассмотреть концепцию стационарных случайных функций, которые могут принимать не только время в качестве аргумента. Это направление теории случайных процессов, оказывается, наиболее актуальным в практическом применении. В качестве примера возьмем $C(t)$, которая представляет собой случайную функцию, например, значения PM_{10} , $PM_{2,5}$, $C_{M.P.}$, $C_{C.C.}$. В задаче анализируется поведение этой функции в различные моменты времени. Необходимо установить, какова вероятность того, что в определенный момент t функция $C(t)$ не превышает нормативное значение $C_{НОРМ}$, а в следующий момент $t+dt$ значение функции уже выше этого норматива. Таким образом, исследуется переходное поведение функции через пороговое значение.

В ситуации со стационарной случайной функцией $C(t)$ важную роль играет корреляционная функция $K_C(t_1 t_2)$, которая вычисляется $M((C(t_1) - M_{C(t_1)})(C(t_2) - M_{C(t_2)}))$ исходя из разности времён Δt между двумя моментами t_1 и t_2 , а не из их конкретных значений. Это подчёркивает, что значение функции определяется исключительно временным интервалом между этими точками, а не точными моментами измерения. Используя аппарат случайных процессов, можно определить среднее значение числа выходов и продолжительность этих выходов для концентрации пыли c_0 , $C_{PM_{10}}$, $C_{PM_{2,5}}$ выше уровня соответствующих им значений ПДК в воздухе для жилой зоны – $0,5 \text{ мг/м}^3$, для частиц PM_{10} – $0,3 \text{ мг/м}^3$, для частиц $PM_{2,5}$ – $0,16 \text{ мг/м}^3$.

Проведенные экспериментальные и натурные исследования позволили получить для каждого технологического процесса дифференциальную функцию изменения значений функции прохода при фиксированных $D(d_q)$ и рассматривать каждую интегральную функцию распределения массы частиц по диаметрам как случайный процесс. Аналогично как случайный процесс можно рассматривать интегральную концентрацию $C(d_q) = c_0 \times D(d_q)$, где c_0 – случайная величина общей концентрации пыли, а d_q – эквивалентный диаметр [167].

Важность анализа случайного процесса заключается в том, чтобы убедиться в его независимости и стационарности, независимо от того, является ли процесс нормальным или логнормальным. Проверка стационарности особенно важна,

поскольку она подразумевает, что математическое ожидание процесса, обозначаемое как $V(t)$, постоянно и равно нулю. Это ключевой аспект для точности практических расчетов.

3.2 Методы аппроксимации интегральной функции дисперсного состава

В процессе анализа пыли, возникающей во время строительных и ремонтных работ, использование степенных, экспоненциальных и других функций для описания дисперсного состава строительной пыли не подходит, потому что натуральные и экспериментальные исследования показали, что склеенные сплайны (кусочно-линейные функции) показывают более точные значения на всей области определения параметра $x = \log d_q$. Первопричиной этого является то, что на значительном участке как правило d_q , выполняется логарифмически нормальный закон Колмогорова и в вероятностно-логарифмической сетке интегральная функция описывается прямой линией. А на других участках она может описываться различными прямыми – параболой, гиперболой и даже экспонентой. Для получения интегральных функций распределения массы частиц по их диаметрам, мы опираемся на аппроксимацию экспериментально полученных функций прохода. Интегральная функция может быть представлена в вероятностно-логарифмической сетке в виде комбинации различных сплайнов: двухзвенным сплайном из линейных функций, трехзвенным сплайном из линейных функций, двухзвенным сплайном (линейная функция + парабола), двухзвенным сплайном (линейная функция + гипербола), трехзвенным сплайном (линейная функция + парабола + гипербола), четырехзвенные и пятизвенные сплайны. Очевидно, что четырехзвенные и пятизвенные сплайны дают большую точность аппроксимации и при этом, можно добиться, чтобы интегральная функция была не

только непрерывной, но и непрерывно дифференцированной. Однако при этом резко увеличивается сложность подбора математического аппарата.

Ранее проведенные исследования, как правило, анализировали два основных подхода к построению интегральной функции распределения массы частиц по диаметрам как аппроксимацию функции прохода, полученной в результате измерений. В первом из них использовался сплайн с двумя участками (двухзвенный сплайн), включающий две линейные функции или линейные и гиперболические участки, а второй метод предполагал применение трехзвенного сплайна, состоящего из набора линейных, параболических и гиперболических участков [1, 2, 31].

Для примера рассмотрим построение интегральных функций распределения с помощью двухзвенного (прямая + гипербола) и трехзвенного сплайнов (прямая + парабола + гипербола).

Метод аппроксимации с использованием двухзвенного сплайна.

Рассмотрим два отрезка, каждый из которых охватывается набором величин частиц δ , рисунок 3.6. Первый отрезок $x \leq x_{кр1}$, второй – $x_{кр1} \leq x < x_{кр2}$, где $x = \log d_{\mu}$.

Далее, линейная функция применяется для аппроксимации интегральной функции значения функции на отрезке $[0, x_{кр1}]$:

$$y_1 = a_1 + kx. \quad (3.2)$$

На участке $[x_{кр1}, x_{кр2}]$ можно применим возрастающую гиперболическую функцию, которая имеет вертикальную асимптоту $x_{кр2} = \lg x_{кр2}$:

$$y_2 = a_2 + \frac{a_3}{x_{кр2} - x}. \quad (3.3)$$

Задача состоит в нахождении 4 неизвестных параметров: a_1, a_2, a_3, k и в выборе $x = x_{кр1}$. В точке $x = x_{кр1}$ производные функции слева: $Y_{1(x)}$ и справа: $Y_{2(x)}$ должны быть одинаковыми, так же, как и сами функции $Y_{1(x_{кр1})}$ и $Y_{2(x_{кр2})}$.

$$Y = \begin{cases} y_{kp1} + k(x - x_{kp1}), & \text{при } x \leq x_{kp1} \\ y_{kp1} - k\Delta + \frac{k\Delta^2}{x_{kp2} - x}, & \text{при } x_{kp1} \leq x < x_{kp2} \end{cases} \quad (3.4)$$

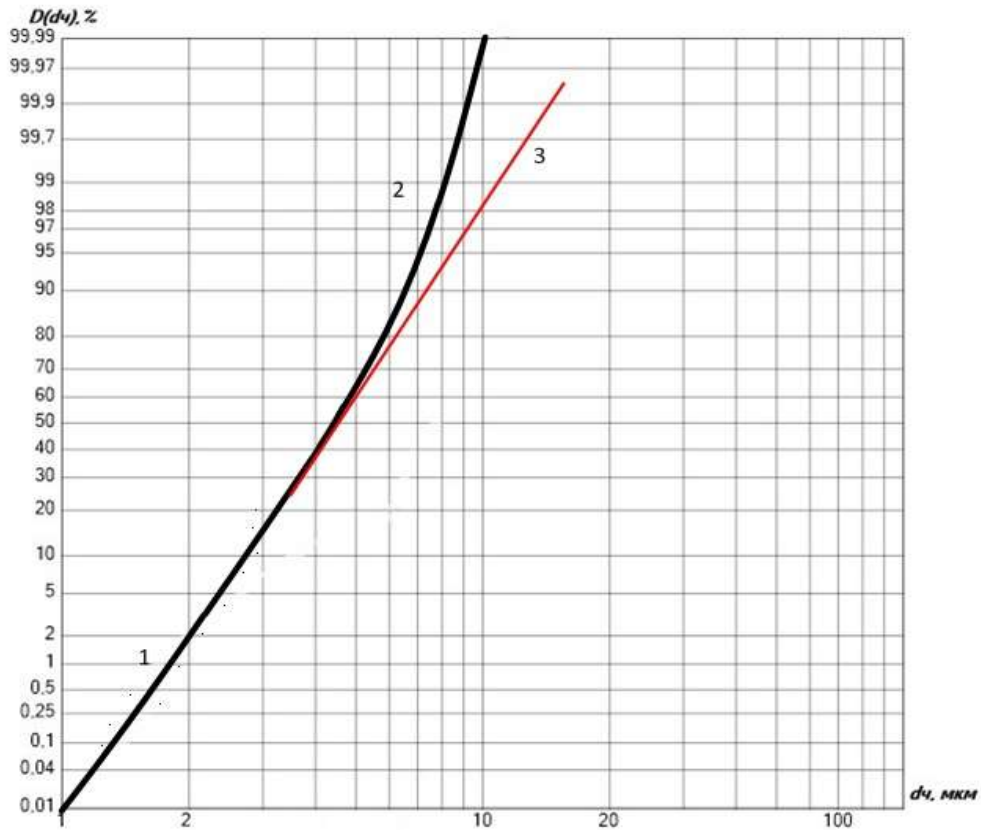


Рисунок 3.6 – Линейные и нелинейные функции, используемые для аппроксимации интегральной функции распределения массы частиц по диаметрам

где Y_1, Y_2, \dots, Y_N – значение интегральной функции распределения, полученное на экспериментальных данных в точках x_1, x_2, \dots, x_N .

Решение системы уравнений позволяет выразить 2 параметра через 2 других и свести решение задачи оптимального планирования в матричной форме. Затем используя теорему Гаусса-Маркова [181] и метод наименьших квадратов находим 2 других параметра.

Метод аппроксимации с использованием трехзвенного сплайна.

Исследование показало, что использование трехзвенного сплайна, рисунок 3.7, для аппроксимации интегральной функции прохода, непрерывной,

непрерывно-дифференцируемой интегральной функцией распределения частиц по диаметрам пыли в воздухе строительных площадках и близлежащих территорий обеспечивает более высокую точность [1].

Задача аппроксимации состоит в нахождении шести коэффициентов k, p, a, b, c, S , трех узлов $x_{y3n1}, x_{y3n2}, x_{y3n3}$ и в общей сложности девяти параметров. Мы используем дополнительные требования, поскольку три области связаны:

1. Равенство функций y_1 и y_2 в точке x_{y3n1} :

$$\begin{cases} y_1(x_{y3n1}) = kx + p, \\ y_2(x_{y3n1}) = ax^2 + bx + c. \end{cases} \quad (3.5)$$

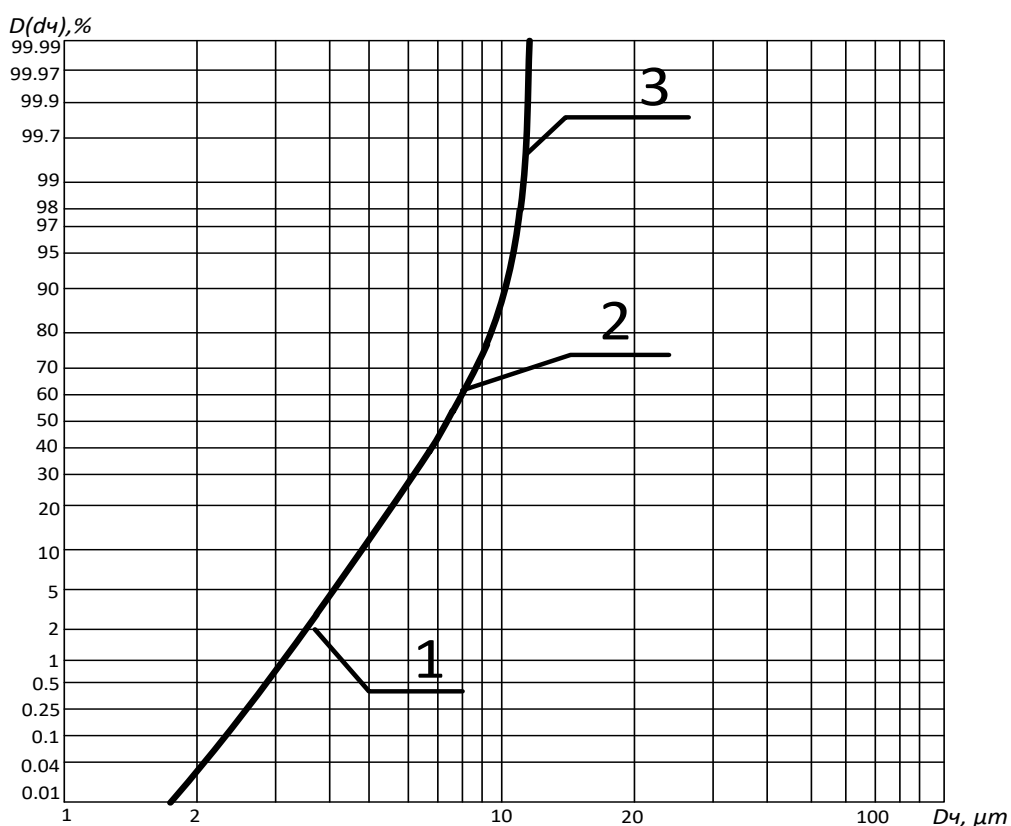


Рисунок 3.7 – Аппроксимация интегральной функции распределения массы частиц по диаметрам трехзвенным сплайном: 1 – прямая; 2 – парабола; 3 – гипербола

2. Равенство производных функций y_1 и y_2 в точке x_{y3n1} :

$$\begin{cases} y'_1(x_{y3n1}) = k, \\ y'_2(x_{y3n1}) = 2ax + b. \end{cases} \quad (3.6)$$

3. Равенство функций y_2 и y_3 в точке x_{y3l2} :

$$\begin{cases} y_2(x_{y3l2}) = ax^2 + bx + c, \\ y_3(x_{y3l2}) = \frac{S}{x_{y3l3} - x_{y3l2}}. \end{cases} \quad (3.7)$$

4. Равенство первых и вторых производных функций y_2 и y_3 в точке x_{y3l2} :

$$\begin{cases} y'_2(x_{y3l2}) = 2ax + b, \\ y'_3(x_{y3l2}) = -\frac{S}{(x_{y3l3} - x_{y3l2})^2}. \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\begin{cases} y''_2(x_{y3l2}) = 2a, \\ y''_3(x_{y3l2}) = \frac{S}{(x_{y3l3} - x_{y3l2})^3}. \end{cases} \quad (3.9)$$

Исходя из этих требований, можно вывести пять уравнений, которые можно использовать для выражения коэффициентов k, p, a, b, c, S 3-х узловых точек $x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}$ и коэффициент S .

$$\bar{Y}_1 = \bar{F}(\bar{m}) + \bar{\varepsilon}_1, \quad (3.10)$$

где \bar{Y}_1 – вектор значений интегральной функции.

$$D(x_i) = \begin{cases} y_1 = kx + p, \text{ если } 0 < x \leq x_{y3l1} \\ y_2 = ax^2 + bx + c, \text{ если } x_{y3l1} \leq x \leq x_{y3l2} \\ y_3 = \frac{S}{x_{y3l3} - x_{y3l2}}, \text{ если } x_{y3l2} \leq x \leq x_{y3l3} \end{cases} \quad (3.11)$$

Для получения более точного понимания интегральной функции распределения массы частиц пыли $D(\delta_i)$, алгоритм последовательно определяет коэффициенты k, p, a, b, c, S . Цель – минимизировать различия между теоретическими функциями и экспериментальными данными в узловых точках $x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}$. В альтернативном подходе, вычисления функции распределения массы делятся на три сегмента. На первом этапе осуществляется поиск

минимального отклонения $\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2$ на каждом из трех отрезков $[0; x_{y3l1}]$, $[\exp x_{y3l1}; \exp x_{y3l2}]$, $[\exp x_{y3l2}; \exp x_{y3l3}]$ на которые разделены результаты измерений, чтобы уточнить значения функций на каждом из них.

Для дальнейшего анализа определим необходимые символы: вектор, который содержит значения квантилей интегральной вероятностной функции $kvanerfD(\delta_i)$; $F(x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}, S)$ – матрицу размеров $(N \times 6)$; вектор, который включает в себя параметры, значения которых нужно определить $\bar{l} = (k, p, c, b, a, S)$; а также вектор отклонений $\varepsilon = (\varepsilon_1 \dots \varepsilon_N)^T$, где T обозначает транспонирование:

$$F(x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}, S) = \begin{pmatrix} x_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N-1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & x_{N1+1} & x^2_{(N1+1)} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & x_{N1+2} & x^2_{(N1+2)} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & x_{N2} & x^2_{(N2+3)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{x_{y3l3} - x_{N2+1}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{x_{y3l3} - x_{N2+2}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{x_{y3l3} - x_N} \end{pmatrix}, \quad (3.12)$$

При заданном наборе параметров $x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}$, процесс определения вектора $l = (k, p, c, b, a, S) \bar{l} = (k, p, c, b, a, S)$ преобразуется в задачу оптимального планирования. Эта задача выражается в матричной форме:

$$kvanerf \bar{D}_l^T = F \times l^{-T} + \bar{\varepsilon}. \quad (3.13)$$

Исходя из теоремы Гаусса-Маркова, при определённых условиях $\det F^T \times F \neq 0$, оценки \bar{l} , полученные методом наименьших квадратов, являются

уникальными, оптимальными линейными несмещёнными оценками и имеют форму:

$$\bar{l} = (x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}) = (F^T F)^{-1} F^T D_l. \quad (3.14)$$

Для каждого заданного набора $x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}$, минимальное значение по заданным параметрам рассчитывается:

$$\min_{k,p,c,b,a,S} \varepsilon^T \varepsilon (x_{y3l1}, x_{y3l2}, x_{y3l3}) = \left(D_l - F (F^T F)^{-1} F^T D_l \right)^T \left(D_l - F (F^T F)^{-1} F^T D_l \right). \quad (3.15)$$

В зависимости от того, в каком диапазоне $[0; x_{y3l1}]$, $[\exp x_{y3l1}; \exp x_{y3l2}]$, $[\exp x_{y3l2}; \exp x_{y3l3}]$ находятся значения $x=2,5\text{мкм}$ и $x=10\text{мкм}$, для расчёта содержания мелкодисперсных фракций $C_{PMi} = C_{\text{ОБЩ}} \times D(d_i)$ [167].

Нами был исследован дисперсный состав и интегральные функции концентрации пыли в воздухе стройплощадке и близлежащей территории как случайные процессы. Проведены сравнения методом построения интегральных функций частиц по диаметрам на основании интегральной функции прохода, проанализированы семь вариантов функций аппроксимации: однозвенные, двухзвенные и трехзвенные сплайны. Измерения проводились при технологической операции – устройство фундамента с расположением бетоноузла на строительной площадке (п. 2.2) параллельно в трех контрольных точках для определения дисперсного состава пыли на расстоянии 5 м от бетоноузла, 10 м от места укладки бетона и 30 м от жилой зоны. Проверен дисперсный состав пыли микроскопическим методом и измерения частиц PM10 и PM2,5 произведено счетчиком частиц Handheld 3016 (п. 2.2). Исследование дисперсного состава пыли при устройстве фундамента охватило 100 единиц выборки. Было проведено определение критериев согласия Пирсона [181] и Колмогорова [155] по результатам исследования пыли на строительной площадке и на близлежащей территории, таблицы 3.1 и 3.2.

Критерий согласия Пирсона χ^2 определяется

$$\chi^2_{\text{ЭКСП}} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (3.16)$$

где n – объем выборки; k – число интервалов разбиения выборки; n_i – экспериментальные значения выборки, попавших в i -й интервал; np_i – теоретическая частота попадания значений случайной величины в i -й интервал. Если $\chi^2 = 0$, то наблюдается полное соответствие экспериментального значения теоретически ожидаемому. При $\chi^2_{\text{эксп}} \leq \chi^2_{\text{теорт}}$ – достоверность подтверждается, при $\chi^2_{\text{эксп}} \geq \chi^2_{\text{теорт}}$ – достоверность не подтверждается.

Критерий согласия Колмогорова λ определяется

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{n}}, \quad (3.17)$$

где P – разность между экспериментальной и теоретической частотой; n – число проб. Если $\lambda_{\text{эксп}} < \lambda_{\text{теорт}}$, достоверность подтверждается.

Значения PM_{10} и $PM_{2,5}$ определялись прямым методом и на основании аппроксимации интегральной функции прохода, полученной микроскопическим методом. $C_{PM10} = C_{\text{общ}} \times D = 10 \text{ мкм}$. $C_{PM2,5} = C_{\text{общ}} \times D = 2,5 \text{ мкм}$.

Таблица 3.1 – Результаты расчета проверки достоверности по критериям для пыли в воздухе на строительной площадке

Типы аппроксимации	Варианты функций аппроксимации	Результаты проверки достоверности по критериям, %			
		Колмогорова λ		Пирсона, χ^2	
		подтверждается	не подтверждается	подтверждается	не подтверждается
Однозвенный сплайн	Прямая	55	45	30	70
Двухзвенный сплайн	Прямая + прямая	70	30	65	35
	Прямая + парабола	50	50	55	45
	Прямая + гипербола	80	20	75	25
Трехзвенный сплайн	Прямая + прямая + прямая	65	35	65	35
	Прямая + прямая + гипербола	90	10	90	10
	Прямая + парабола + гипербола	100	0	95	5

Таблица 3.2 – Результаты расчета проверки достоверности по критериям для пыли в воздухе близлежащие территории

Типы аппроксимации	Варианты функций аппроксимации	Результаты проверки достоверности по критериям, %			
		Колмогорова λ		Пирсона, χ^2	
		подтверждается	не подтверждается	подтверждается	не подтверждается
Однозвенный сплайн	Прямая	50	50	30	70
Двухзвенный сплайн	Прямая + прямая	65	35	65	35
	Прямая + парабола	70	30	65	35
	Прямая + гипербола	80	20	75	25
Трехзвенный сплайн	Прямая + прямая + прямая	65	35	65	35
	прямая+прямая+гипербола	90	10	90	10
	прямая+парабол а+гипербола	100	0	100	0

Согласно данным таблиц 3.1 и 3.2, применение трехзвенного сплайна (прямая + парабола + гипербола) для аппроксимации интегральной функции прохода дает наиболее точные результаты, что свидетельствует о том, что распределение размеров частиц соответствует логарифмически-нормальному закону [159].

Результаты дисперсного состава исследуемых проб частиц показали, что размер частиц в жилой зоне более мелкие, чем на строительной площадке. Действие закона А.Н. Колмогорова распространяется на отдельных участках для частиц крупнее 1 мкм.

3.3 Выводы по главе 3

1. В вероятностно-логарифмической сетке интегральную функцию распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам для пыли в воздухе на

строительной площадке и вблизи нее с высокой степенью точности можно строить в виде трехзвенного сплайна: линейная функция + парабола + гипербола. Проверка проводилась на основании критерий Пирсона и Колмогорова.

2. Проведенные экспериментальные и натурные исследования позволили получить для каждого технологического процесса дифференциальную функцию изменения значений функции прохода при фиксированных d_c и рассматривать интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам при анализе дисперсного состава пыли как случайный процесс. Аналогично как случайный процесс можно рассматривать интегральную концентрацию пыли.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЫЛЬЮ ВОЗДУХА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ТОЧЕЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

4.1 Технические мероприятия по защите от загрязнения пылью воздуха строительной площадки точечного строительства: сетки, ограждения, экраны

Для защиты от пыли атмосферного воздуха часто используются различные защитные системы в виде сеток, ограждений и экранов, которые широко распространены [25, 37, 44, 46]. Эти элементы монтируются в строгом соответствии с детализированными планами, включенными в проектные работы. Эти планы составлены в соответствии с принципами проектной документации (СПДС), Едиными государственными стандартами конструкторской документации (ЕСКД), а также согласно ГОСТ Р 21.101-2020, который устанавливает основные требования к проектной и исполнительной документации и общим стандартам для текстовых документов [12].

В справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС 22-2016 [25] упоминаются передовые технологии, которые эффективно способствуют очищению атмосферы от вредных выбросов, а в документе по ГОСТ Р 2.105-2019 [11] они представлены как лучшие из доступных решений. Эти технологии включают различные типы сеток: от улавливающих и защитно-улавливающих до универсально-улавливающих и улавливающих защитных экранов. Эти сетки и ограждения отличаются высокой прочностью, компактностью, легкостью и возможностью многократного использования. Их установка происходит на различных уровнях: на крышах зданий, на каркасах строительных объектов, парапетах, оконных проемах и ограждениях строительных площадок. Установка осуществляется с использованием лесов, что позволяет размещать их на нужной

высоте во время строительства или на площадках для разгрузочных работ [104, 105].

В области строительства используют различные типы сеток, среди которых можно выделить фасадные сетки от компаний, таких как «Мергуд», Rendell и Strong с плотностью 80 г/м^2 , а также баннерные строительные сетки с плотностью 370 г/м^2 . Хотя эти сетки и не обеспечивают высокую эффективность для мелкодисперсной пыли, их главная функция заключается в обеспечении безопасности для предотвращения падения людей и объектов, барьер от распространения строительного мусора и крупных частиц пыли. Так, проведенные автором исследования показали, что эффективность улавливания фасадными сетками в зависимости от направления и скорости ветра колеблется в пределах 15-20% [103, 113].

Автором была разработана модель пылезащитного экрана, конструкция которого устроена таким образом, чтобы оптимально подходить к габаритам строительных лесов или секций ограждающих конструкций забора. Эти экраны обрабатываются специальным химическим раствором, разработанный автором, который усиливает его способность адсорбировать пыль, патент №192629 [108]. Эффективность модели особенно заметна при применении ее в процессе реализации наиболее пылящих процессов – демонтажные работы и работы нулевого цикла. В конструкции пылезащитного экрана должна использоваться рогожка или нержавеющей сетка с ячейками $0,8 \times 0,8 \text{ мм}$ d-0,25мм тканной MESH 2-08-025 согласно ГОСТ 3826-82 [10] (1000 ячеек на 100 см^2 , вес сетки – 0.3 кг/м^2 , продольная прочность на разрыв – $19,3 \text{ кН}$) [108].

Химический состав раствора для смачивания экрана определялся на основании экспериментальных исследований на строительной площадке. Экспериментальная установка состояла из пылезащитного экрана, распылителя твердых взвешенных веществ, вентилятора, создающего набегающий пылевоздушный поток на экран. Факторами эксперимента были: X_1 – доля 3% водного щелочного раствора силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O} (\text{SiO}_2)$, плотностью $\rho = 1.4-1,6 \text{ г/см}^3$ – диапазон изменения 0,3-0,6; X_2 – хлористый кальций CaCl_2 , плотностью 2,15

г/см³ – диапазон изменения 0,1-0,3. Кроме того использовались отходы мономерной жидкой кислоты – угольная кислоты H₂CO₃, плотностью $\rho = 1,668$ г/см³. Ее доля определялась следующим образом: $X_3 = X_1 - X_2$. Эксперименты проводились при скорости ветра v (независимый фактор X_4), создаваемого вентилятором, в диапазоне 1,5-4 м/с. План эксперимента – 3³. Время твердения раствора – 40 минут. В результате твердения образовывалось гелеобразное вещество, которое в процесс твердения обеспечивало удерживание частиц пыли, производимых от строительного производства. Получить строгую зависимость от трех факторов эффективности улавливания в виде уравнения регрессии не удалось, однако наилучшие результаты показала смесь следующего состава: 3% водного щелочного раствора силикатов натрия Na₂O (SiO₂) – 50%, хлористый кальций CaCl₂ – 20%, отходы мономерной жидкой кислоты – угольная кислоты H₂CO₃ – 30% [43, 61].

Для оценки способности раствора удерживать частицы пыли в условиях строительного производства автором работы были проведены натурные исследования. Монтаж конструкции пылезащитного экрана был произведен на строительной площадке в г. Ростове-на-Дону. Экран устанавливался с северной и западной стороны на ограждающие конструкции, так как в период исследования данные направления ветра были преобладающими. В период испытаний каждые 3 часа производилось нанесение раствора струей из опрыскивателя. Гелеобразный раствор аккуратно удалялся механическими движениями при помощи щетки с металлическим ворсом.

Для изучения пылезащитного экрана автором проводились ежедневные измерения концентрации пыли до и после экрана проводилось ручным счетчиком частиц Handheld 3016 IAQ. Скорость набегающего воздушного потока измерялась анемометром Benetech GM816. Контрольные точки замеров показаны на рисунке 4.1 (а). Схема исследования эффективности пылезащитного экрана представлены на рисунке 4.1 (б). Исследования проводились если скорости преобладающего ветра v_1 (северного) и v_2 (западного) направлений, настигающие экран в период исследования не превышали 7 м/с [61].

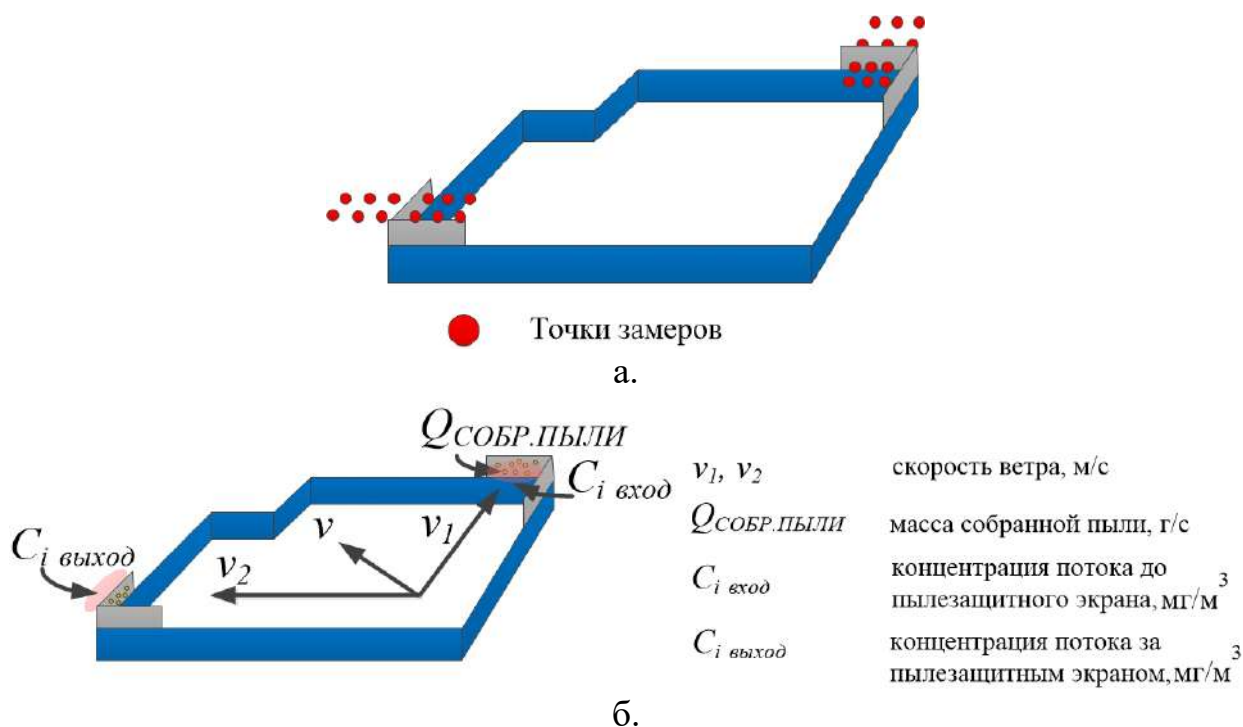


Рисунок 4.1 – Схема исследования: а – схема точек замеров; б – схема исследования эффективности пылезащитного экрана

Перед началом выполнения пылящей операции, например, выравнивание площадки, бульдозером, пылезащитный экран покрывался химическим составом из расчета 100 г на 1 м² каждый час рабочей смены.

В период исследования основной объем выбросов пыли со строительной площадки оседал на улавливающем экране. Оценка объема осевшей пыли осуществлялась как отношение собранной пыли к расходу пыли в набегающем потоке выбора определенной области

$$\eta_{\text{ЭФ. П.ЭК.}} = \frac{Q_{\text{СОБР.ПЫЛИ}}}{v_i \times C_{i \text{ хода}} \times S_i'} \quad (4.1)$$

где $Q_{\text{СОБР.ПЫЛИ}}$ – масса собранной пыли, г/с; v_i – скорость ветра в i -том направлении; $C_{i \text{ хода}}$ – концентрация пыли в набегающем на экран потоке в i -том направлении ветра, мг/м³; S_i – площадь экрана, в который направлен поток воздуха, м².

Результаты испытаний приведены в таблице 4.1. На рисунке 4.2 показаны графики изменения концентрации пыли с подветренной стороны экрана на расстоянии 10 м от экрана. Установка экрана произведена через 2 часа после начала рабочей смены.

Таблица 4.1 – Результаты эффективности пылеулавливания при расходе раствора 100 г

Вид строительного процесса	Скорость ветра, м/с	Расход пыли в набегающем потоке, г/час	Интенсивность оседания пыли на экране, г/час	Эффективность пылеулавливания, %
Демонтажные работы	7	114,47	105,31	92
	7	105,31	95,83	91
	6	116,75	100,40	86
	3	108,74	92,42	85
	5	103,02	91,68	89
	6	113,52	103,30	91
Выравнивание площадки бульдозером	5	78,28	72,01	91
	4	76,53	65,81	86
	7	72,32	65,08	90
	7	77,55	69,79	90
	6	73,31	63,77	87
	6	77,64	65,99	85
Разработка грунта	2	91,52	82,36	90
	4	91,27	78,49	86
	6	92,74	81,66	90
	6	85,46	81,39	89
	7	80,55	81,49	90
	6	91,42	76,79	84
Планировка дна и откосов котлована	5	84,62	77,2	94
	5	92,48	79,53	86
	3	91,65	82,48	91
	4	90,67	78,88	87
	5	92,31	77,54	84
	5	91,49	75,93	83
Устройство подпорных стен котлована	7	86,65	81,45	94
	6	85,84	74,68	87
	7	82,16	73,94	90
	7	84,88	76,39	90
	5	86,56	75,30	87
	5	83,73	73,68	88
Забивка свай	3	78,48	63,56	81
	3	70,11	59,59	85
	4	72,66	63,21	87
	3	78,33	66,58	85
	4	71,43	61,42	86
	4	72,25	61,41	85
Опалубочные работы	3	63,44	55,82	86
	5	60,93	54,22	89
	5	63,24	56,91	90
	4	62,84	53,41	85
	5	62,55	53,79	86
	5	62,53	53,77	86

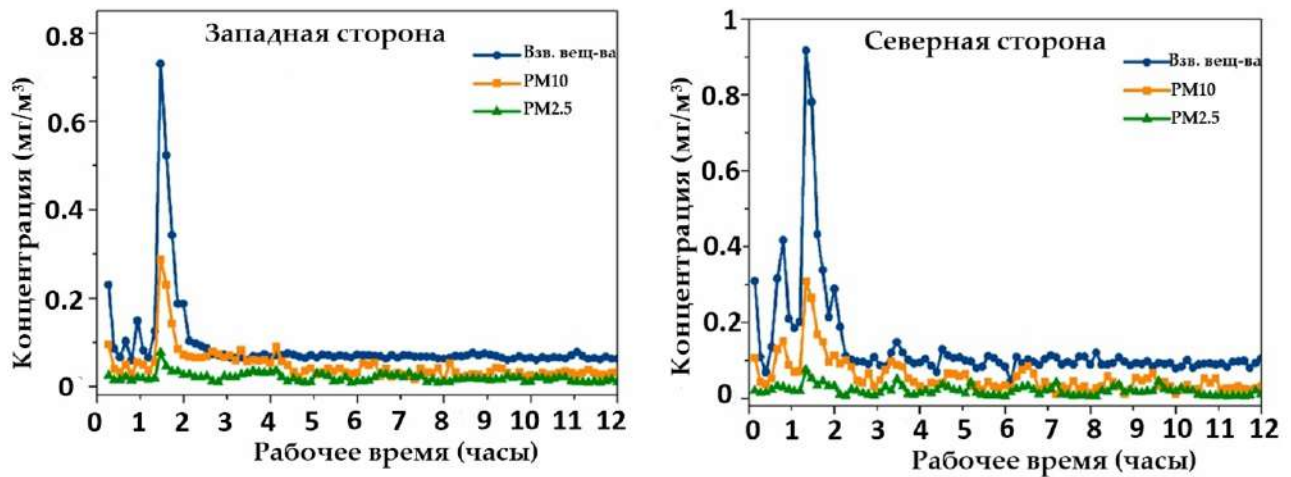


Рисунок 4.2 – Результаты замеров концентрации частиц пыли в воздухе с подветренной стороны экрана за пределами строительной площадки

В качестве контроля сравнивались результаты замеров концентрации потока до конструкции пылезащитного экрана и за ним. Сравнивались величины $Q_i = v_i \times C_{i \text{ вход}} \times S - v_{i \text{ вых}} \times C_{i \text{ выход}} \times S$, рисунок 4.1 (б).

Как правило величина $v_{i \text{ вых}}$ была меньше $v_{i \text{ вход}}$ на 8-15%. Это происходило в следствие аэродинамического сопротивления экрана набегающему потоку.

При натурных исследованиях планировать изменение факторов, например, скорости ветра, не удастся, поэтому планировать эксперимент практически невозможно и, следовательно, получить уравнение регрессии для эффективности пылеулавливания зачастую очень трудно, при этом эффективность пылеулавливания зависит от технологического процесса. Не всегда снижение скорости ветра приводит к повышению эффективности пылеулавливания. Например, при разработке грунта и планировки дна и откосов котлована при снижении ветра эффективность пылеулавливания повышается, а при забивке свай и опалубочных работ – снижается. Однако, в целом можно отметить, что эффективность пылезащитного экрана колеблется в пределах 80-94% [170].

Результаты исследований показывают взаимодействие с раствором частиц пыли, располагаясь в утолщенных участках пленок раствора в ячейках сетки после затвердевания, а также частично втягиваясь внутрь раствора. Если на запыленную поверхность нанести слой раствора для смачивания пылезащитного экрана и дать

ему полностью затвердеть, то можно увидеть, что частицы остаются внутри раствора, покрываясь пленкой от его твердения.

Для количественной оценки распределения частиц пыли внутри раствора его наносили на запыленную пластинку и определяли содержание частиц в отдельных, срезанных после твердения горизонтальных слоях раствора. Наблюдения показали, что эффект всасывания заметно проявлялся только для частиц PM10. Так, из общего числа частиц диаметром 1-10 мкм оставались на внешнем слое пленки раствора не более 5%.

Частицы большего диаметра попадают внутрь раствора в очень незначительных количествах. Для удаления частиц автором предложена очистка запыленного пылезащитного экрана раствором моющего средства, содержащим сульфонол и тринатрий фосфат в весовом соотношении 1:1, что позволяет в кратчайший срок удалить 98,8 % пыли с экрана для повторного нанесения.

Применение пылезащитного экрана с нанесением химического раствора позволяет сократить выбросы пыли за пределы строительной площадки до 90 %. Эффект всасывания частиц внутрь раствора значительно усиливается при механическом перемешивании нижних его слоев с верхними слоями. В процессе монтажа разработанного пылезащитного экрана на строительные леса при, например, реставрационных работах, процент эффективности повышается еще больше, так как показатели скорости ветра здесь будут отсутствовать или критически малы, что свидетельствует о гарантированном сдерживании выбросов пыли при строительстве в стесненных условиях точечной застройки.

4.2 Увлажнение, туманообразование

Одной из задач, поставленных в данной работе автором, стала разработка технического решения с целью пылеулавливания частиц пыли в стесненных условиях при точечной застройке за счет внедрения системы создания тумана,

особенно актуальной на стройплощадках, где проблема пыли наиболее выражена. Основной целью данных систем является повышение способности улавливать и нейтрализовать пылевые частицы размером до PM10, которые представляют значительную угрозу для дыхательных путей человека. Это достигается благодаря улучшению физических характеристик водяных частиц, проходящих через электромагнитное поле, что позволяет эффективнее связывать пыль в воздухе [45].

Одним из эффективных средств для этого стала разработанная автором модель мокрого пылеулавливания, пушка пылеподавления, используемая при строительстве, представленная на рисунке 4.3 [75, 109].

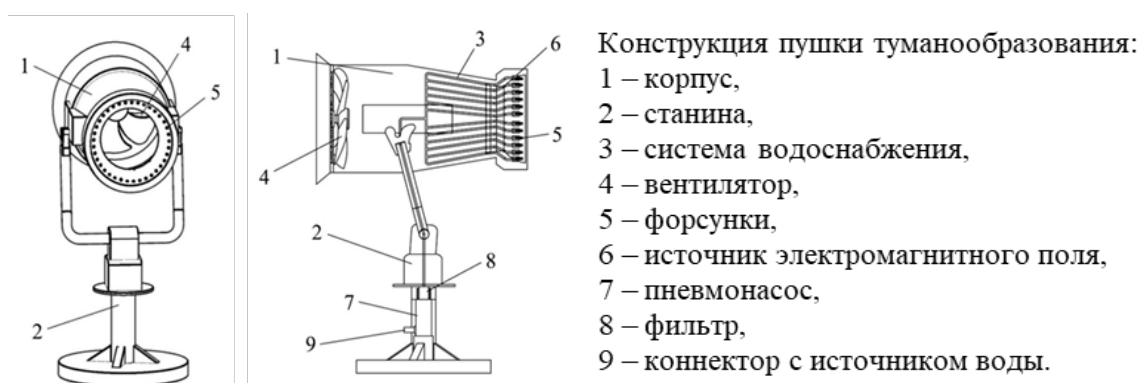


Рисунок 4.3 – Модель пушки пылеподавления

В основе работы разработанной установки для подавления пыли лежит инновационное дополнение – встроенные источники постоянного электромагнитного поля, расширяющие функционал традиционных компонентов, таких как корпус, насос, фильтры, форсунки и системы подачи воды. Это новшество обеспечивает генерацию постоянного электромагнитного поля, что значительно усиливает способность устройства привлекать к воде частицы пыли, особенно те, что обладают наименьшим размером и представляют собой диэлектрический материал. Таким образом, благодаря этому электромагнитному полю, вода приобретает уникальные свойства, позволяющие ей эффективно собирать даже самые мелкие частицы пыли, в диапазоне от PM0,5 до PM10, обеспечивая тем самым чистоту и снижение уровня загрязнения воздуха.

Для создания эффекта тумана, автором установлено, что критически важно подавать воду под высоким давлением. В основании устройства установлен

пневматический насос, который и генерирует необходимое давление. Затем, вода, находясь под этим давлением, проходит через очищающий фильтр. Этот этап важен для удаления микроскопических тяжелых частиц, предотвращая их скопление в форсунках, что могло бы снизить производительность системы. Для подачи воды используется специальное соединение, расположенное у основания устройства. [109].

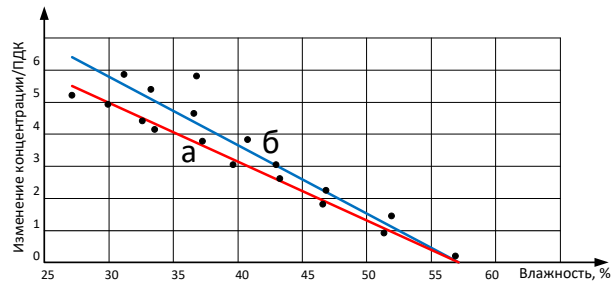
После очистки в фильтре, вода подается во внутреннюю систему водопровода при помощи пневматического насоса, работающего под давлением. Внутри форсунок происходит интенсивное слияние воды и воздуха под высоким давлением, в то время как постоянное электромагнитное поле модифицирует физические характеристики частиц воды. Этот процесс создает облако из тонко распыленных водяных капель, которые, оседая, не только эффективно справляются с крупными частицами пыли, но и притягивают к себе мелкие частицы.

Для оценки эффективности влажного способа снижения концентрации мелкодисперсной пыли на строительных площадках были проведены испытания пушки пылеподавления (рисунок 4.3). Место проведения исследования – объект точечной застройки в ЖК «Екатерининский», г. Ростов-на-Дону, рисунок 4.4. Испытания проводились в ходе реализации строительных процессов на нескольких одновременно возводимых на разных стадиях объектах (многоквартирных жилых домах) автором проведены испытания установки пушки пылеподавления для оценки эффективности использования влажного способа для снижения концентрации пыли [34, 52].

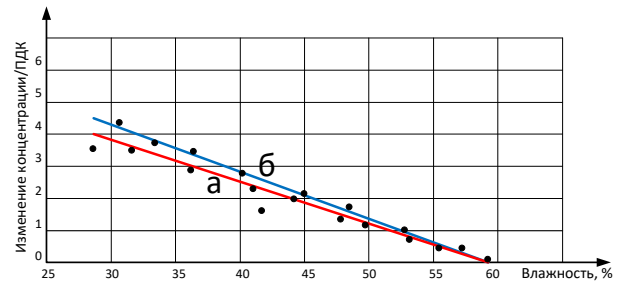


Рисунок 4.4 – Место проведения исследования, ЖК «Екатерининский», г. Ростов-на-Дону

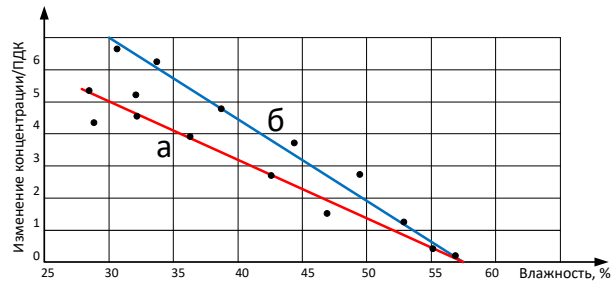
В оборудовании для генерации водяного тумана использовались малорасходные форсунки, способные работать в диапазоне 1-150 л/час при давлении от 2А до 20А. Устройство обеспечивало распыление воды под углами от 45 до 90 градусов, формируя капли размером до 10 мкм. При технологических процессах (штукатурные работы, изоляционные работы, опалубочные работы, устройство грунтовых свай, устройство несущих конструкций, устройство ограждающих конструкций, устройство полов и покрытий, очистка территории стройплощадки, малярные работы, отделочные работы, гидроизоляционные работы, теплоизоляционные работы, кровельные работы и бетонные работы), которые сопровождалось образованием пыли, проводились измерения концентрации пыли в неорганизованных источниках загрязнения воздушной среды пылью при использовании пушки пылеподавления с применением счетчика частиц Handheld 3016, уровень влажности и температуры определялся цифровым гигро-термометром СЕМ DT-321. Скорость ветра в период исследования была в диапазоне 3-8м/с. Результаты изменения концентрации пыли с применением пушки пылеподавления с учетом значений влажности воздуха представлены на рисунках 4.5 и 4.6 [34].



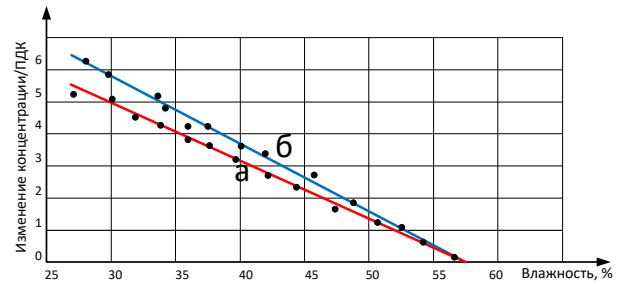
1.



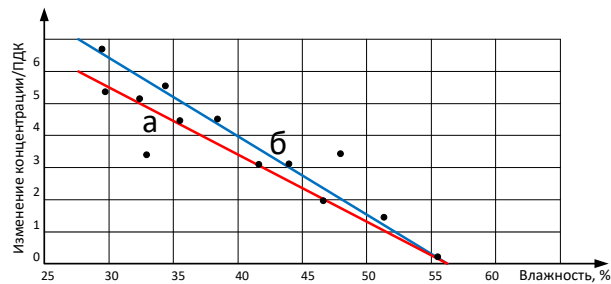
2.



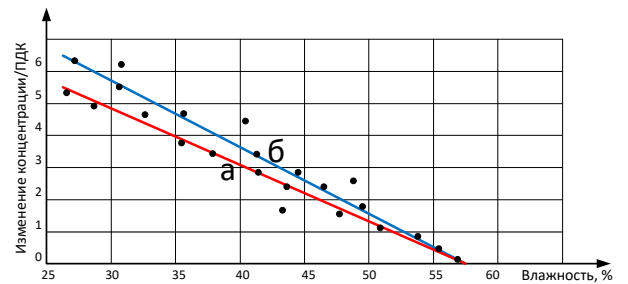
3.



4.

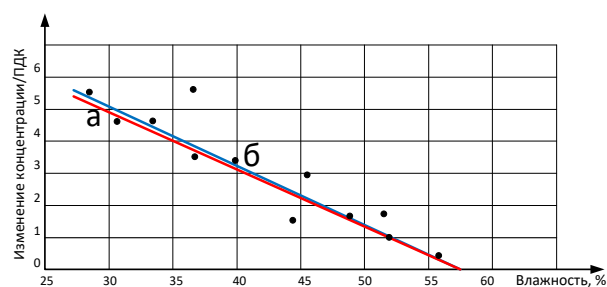


5.

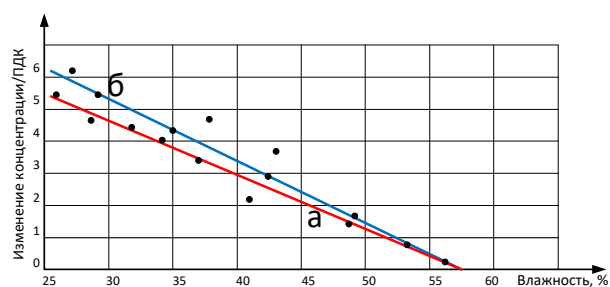


6.

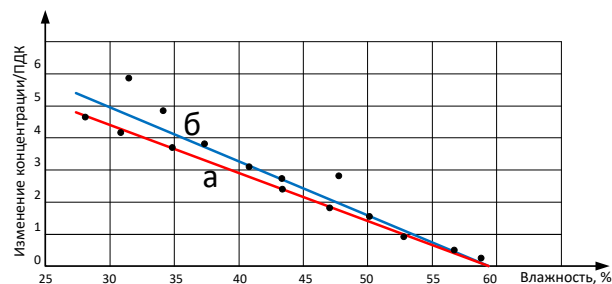
Рисунок 4.5 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при: 1. Штукатурные работы. 2. Изоляционные работы. 3. Производство монтажных работ. 4. Опалубочные работы. 5. Каменно-монтажные работы. 6. Устройство грунтовых свай; а – теплое время; б – переходный период (осень, весна)



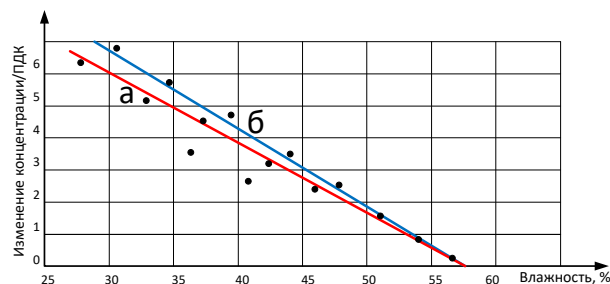
1.



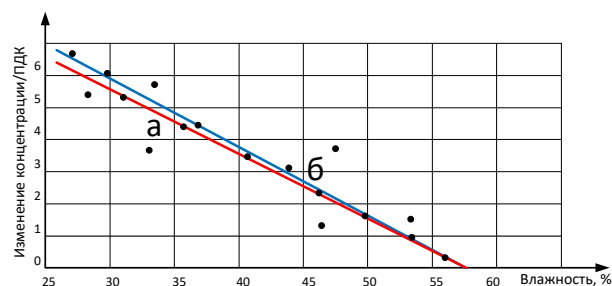
2.



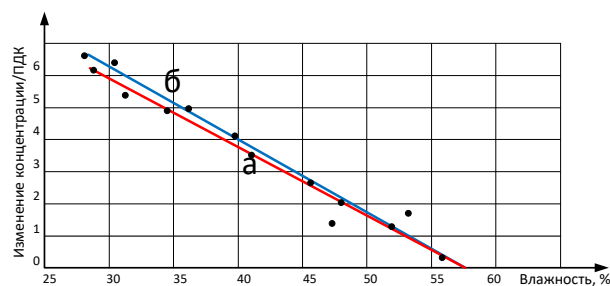
3.



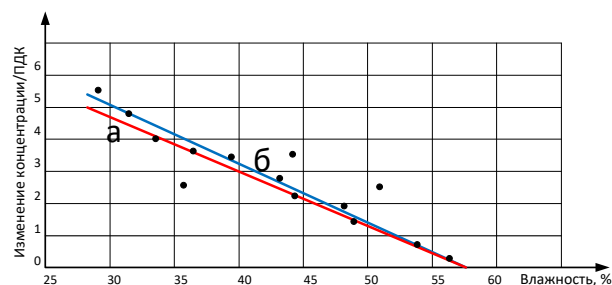
4.



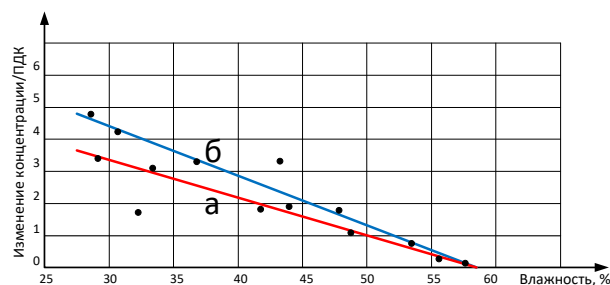
5.



6.



7.



8.

Рисунок 4.6 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при: 1. Производство кровельных работ. 2. Производство бетонных работ. 3. Устройство полов и покрытий. 4. Очистка территории строительной площадки. 5. Производство малярных работ. 6. Производство отделочных работ. 7. Производство гидроизоляционных работ. 8. Производство теплоизоляционных работ; а – теплое время; б – переходный период (осень, весна)

Для определения на каком расстоянии уровень загрязнения атмосферы совпадает с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), автором были проведены измерения концентрации мелкодисперсной пыли PM10 и PM2,5 в

подветренной зоне от источника пыления при скоростях ветра 7-8 м/с. Это сделано из-за предположения, что такие частицы будут витать в воздухе дольше, что влияет на время их оседания. Исследование показало, что при отсутствии магнитной насадки нормы ПДК достигаются на удалении 35 м от источника, тогда как использование магнитной насадки позволяет сократить это расстояние до 28 м. Это исследование помогает понять, насколько может быть сокращена санитарно-защитная зона благодаря применению магнитных насадок.

Для создания комфортных условий при строительстве, была достигнута влажность на уровне 60% и установлена температура на строительной площадке на отметке 24°C для контроля концентрации частиц пыли размером PM2,5, как наиболее производимой в ходе производства работ. На основании исследования автора данные решения показали следующие значения по снижению концентрации пыли, представленные на рисунках 4.7-4.10.

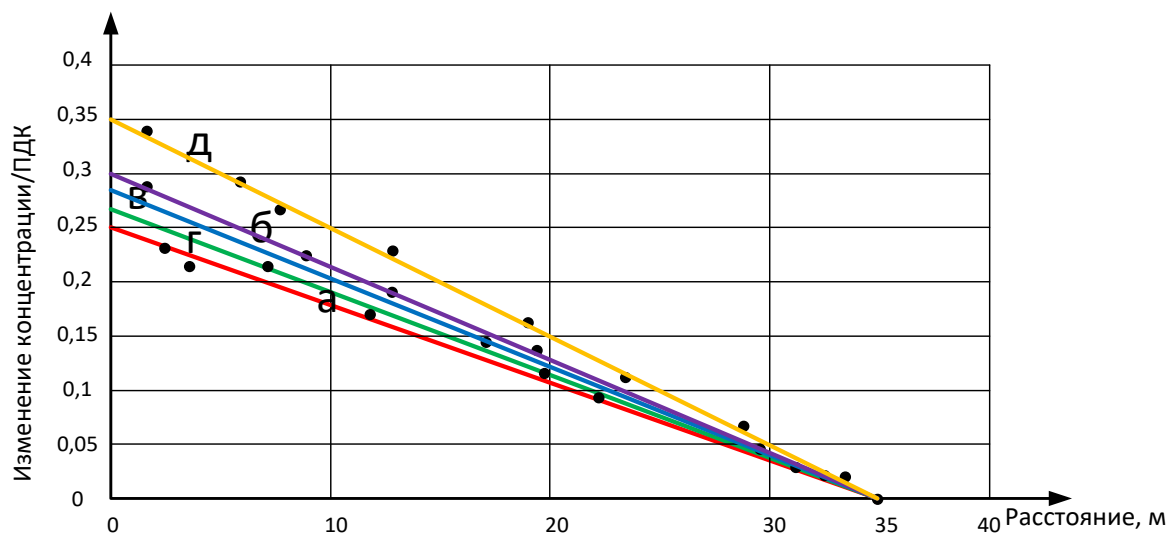


Рисунок 4.7 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при: а – буровых работах; б – устройстве буронабивных свай; в – монтажных работ; г – каменных работах; д – работе по очистке территории

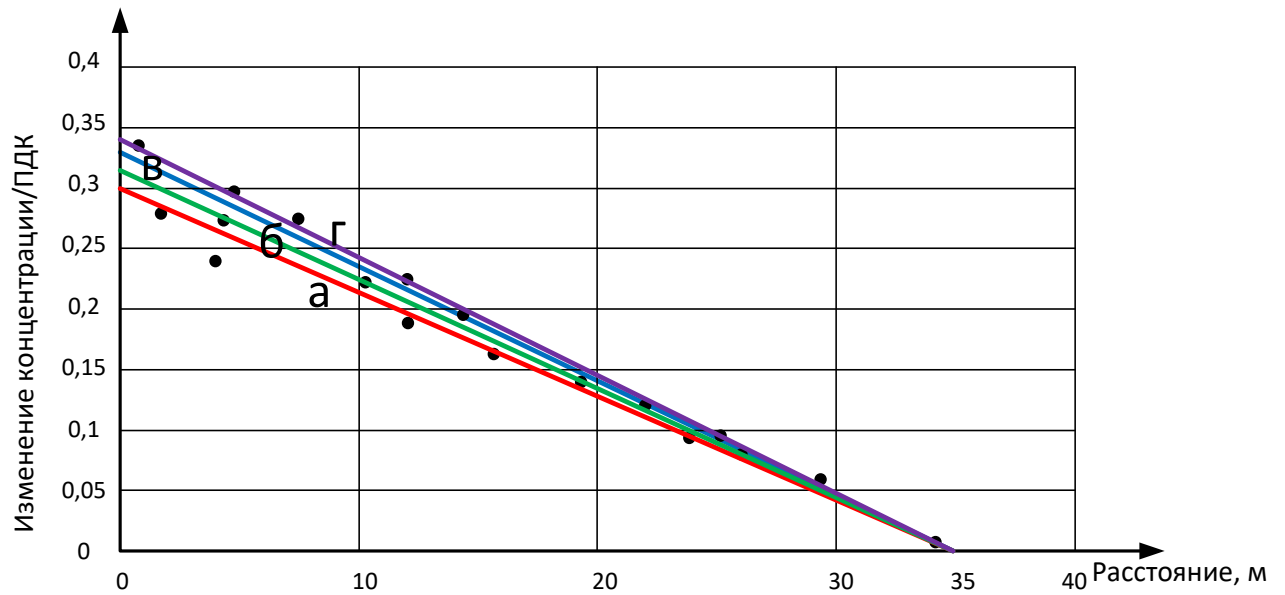


Рисунок 4.8 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при:
 а – бетонных работах; б – малярных работах; в – отделочных работах;
 г – штукатурных работах

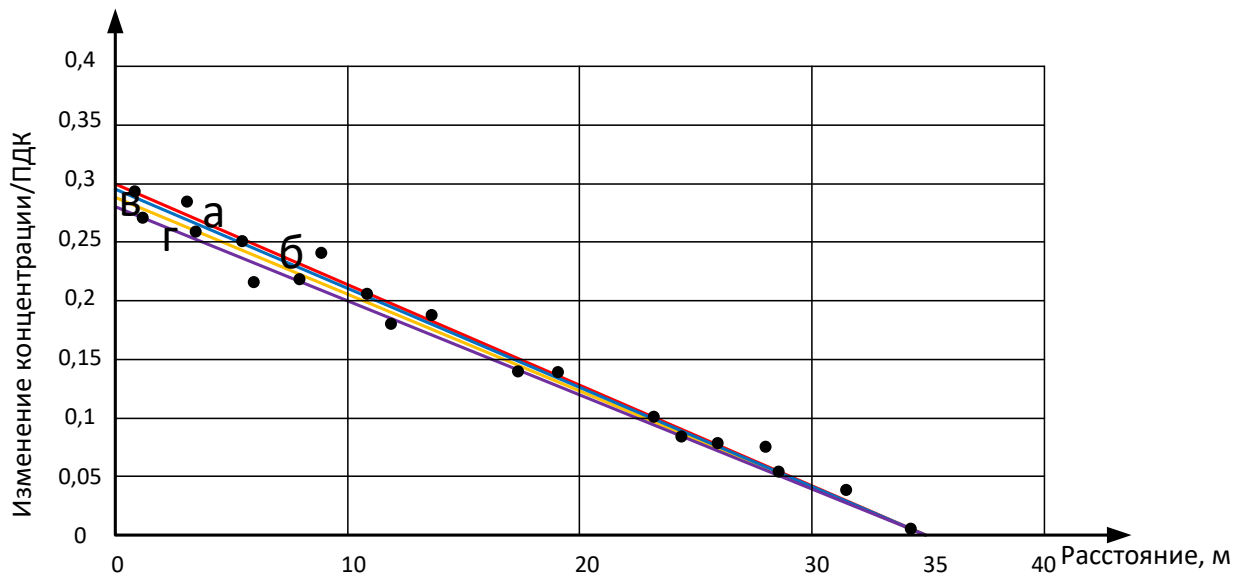


Рисунок 4.9 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при:
 а – устройстве полов и покрытий; б – производстве арматурных работ;
 в – теплоизоляционных работах; г – опалубочных работах

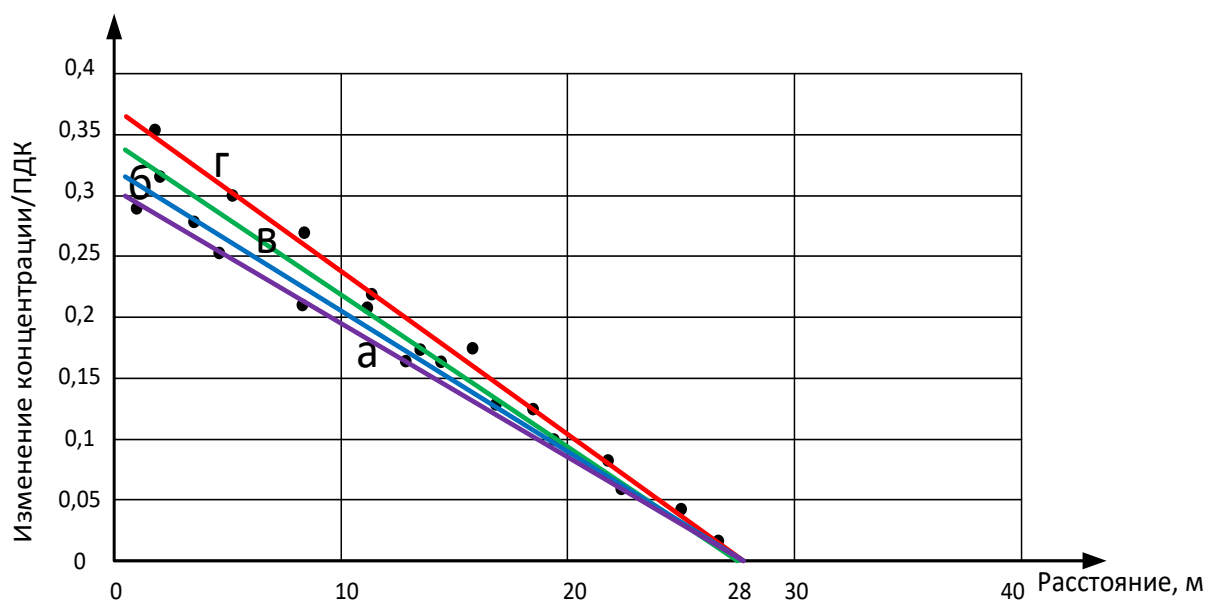


Рисунок 4.10 – Зависимости концентрации пыли в неорганизованных выбросах от влажности при применении пушки пылеподавления при:
а – кровельных работах; б – гидроизоляционных работах; в – устройстве лесов и подмостей; г – изоляционных работах

Натурные измерения также показали, что в воздухе жилой зоны с подветренной стороны от источников пылевыделения превышение ПДК для $PM_{2,5}$ ($0,16 \text{ мг/м}^3$) не зафиксировано. Оптимальная работа системы орошения на расстоянии 30-40 м от жилой зоны с подветренной стороны от источника.

Анализ пылевого загрязнения атмосферы на расстоянии 50 м от строительной площадки показал, что, как правило, при выполнении одного технологического процесса концентрация $PM_{2,5}$ и общая концентрация пыли не превышает значения ПДК. Однако при проведении 2-х или 3-х технологических операций одновременно имели место значения PM_{10} выше ПДК ($0,3 \text{ мг/м}^3$). В таблице 4.2 указаны максимальные уровни присутствия пыли мелкой фракции, которая появляется в результате строительных операций на анализируемых объектах.

Таблица 4.2 – Концентрация пыли с подветренной стороны от места производства строительных работ

№	Наименование работ	Концентрации пыли с подветренной стороны от места выполнения строительных работ, мг/м ³			
		на строительной площадке на расстоянии 10 м		на расстоянии 50 м в жилой зоне, мг/м ³	
		Максимально разовая	Среднесуточная	без увлажнения	при увлажнении
1.	Разработка грунта	2,1	0,75	0,66	0,42
2.	Планировка дна и откосов котлована	1,8	1,1	1,2	0,6
3.	Укладка грунта в насыпи и его уплотнение	4,5	2,5	2,7	0,6
4.	Забивка свай	1,2	0,9	0,9	0,3
5.	Опалубочные работы	1,2	0,9	0,9	0,3
6.	Арматурные работы	1,2	0,9	0,9	0,3
7.	Цементно-песчаная штукатурная изоляция	1,3	0,9	0,9	0,6
8.	Штукатурная асфальтовая гидроизоляция	1,2	0,9	0,9	0,6
9.	Заделка монтажных стыков и узлов	0,9	0,66	0,66	0,44
10.	Устройство фундаментов	0,9	0,66	0,66	0,45
11.	Замес раствора (известковый, песчаный, глиняный, гипсовый раствор)	2,4	1,2	1,2	0,6
12.	Подготовка основания (стяжка цементная, замоноличивание стыков)	2,1	1,1	1,1	0,6
13.	Простая штукатурка	1,5	1,2	1,2	0,6
14.	Штукатурка и облицовка фасадов	1,5	1,2	1,2	0,6
15.	Малярные работы: подготовка поверхности (огрунтовка, шпатлевка, шлифовка)	1,5	1,2	0,9	0,45
16.	Плиточные работы (замес раствора, резка плитки)	1,5	1,2	1,2	0,6
17.	Устройство полов и покрытий	1,8	1,2	1,2	0,6
18.	Озеленение территории (эрозия почвы)	1,2	0,9	0,9	0,45

Данные исследования, представленные автором, свидетельствуют, что уровень концентрации мелкодисперсной пыли в воздухе при строительстве на строительной площадке соответствуют нормативам при влажности воздуха от 55% до 60 %.

В рамках исследования, направленного на анализ уровня пыли в атмосфере на строительных площадках при использовании оборудования для пылеподавления в процессе резки газоблоков на открытой территории, было разработано регрессионное уравнение. Это уравнение позволяет вычислять концентрацию пыли, выраженную в отношении к предельно допустимым концентрациям (ПДК), исходя из расстояния до источника пыления (горизонтальное r , м и вертикальное h , м расстояния). Измерения проводились в радиусе до 20 м от источника, с интервалом в 5 м и на трех различных высотах, что составляет в сумме 15 измерений за каждый эксперимент [71].

Источник пыления должен находиться на расстоянии 1 м от пушки, создающей туман. Рассмотрим высоту H , м, на которой из пушки выходит влажный воздух, а также расстояние R , м от пушки до места проведения замеров, которое измеряется в направлении ветра. Координаты (r, h) определяют координаты точек замеров в зоне действия пушки. Для удобства анализа применим стандартизированные координаты (x_1, x_2) , где

$$x_1 = \frac{R}{R_{\max}}; x_2 = \frac{h - H}{H}, \quad (4.2)$$

таким образом, предполагается, что величина $x_1 \geq 0$, а $-1 < x_2 < 1$. Для анализа динамики изменения общей концентрации пыли при использовании пушки пылеподавления предлагается построить в декартовой системе координат 15 точек, отмечающих места замеров концентрации пыли на каждом расстоянии в 5 м в процессе работы пушки от места резки газоблока, рисунок 4.11 [40].

Исследования, основанные на трех группах замеров, привели к разработке регрессионного уравнения, которое описывает среднюю концентрацию пыли в зоне действия пушки пылеподавления. Уравнение адекватно, проверка на адекватность осуществлена по критерию Стьюдента [40].

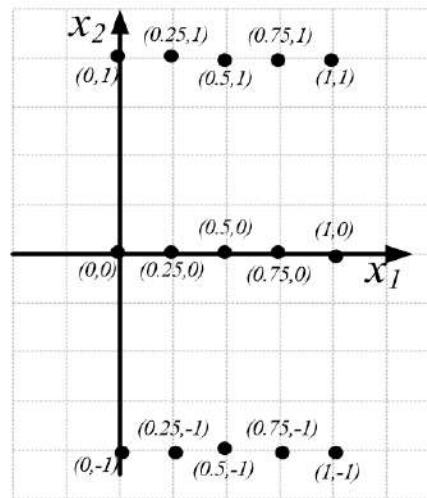


Рисунок 4.11 – Расчетные значения в системе координат

$$\frac{C(x_1, x_2)}{ПДК} = \exp\{1.70 - 0.37x_1 + 0.29x_2 - 1.67x_1^2 - 0.42x_2^2 + 0.22x_1x_2\}. \quad (4.3)$$

На основании анализа данных мы получили графики изменения уровня концентрации пыли в воздухе при использовании пушки пылеподавления, отражающих регрессионную зависимость при диапазоне скоростей воздуха от 2,1 до 3,2 м/с, рисунок 4.12.

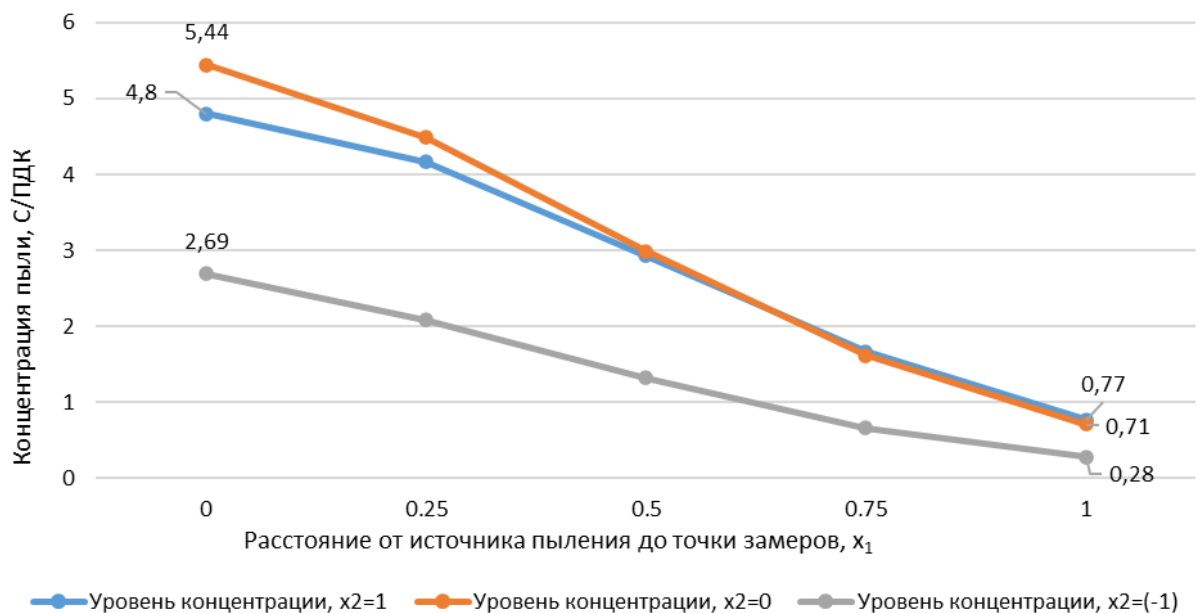


Рисунок 4.12 – Исследование регрессионных зависимостей концентрации пыли в воздухе в процессе резки газоблоков с использованием пушки пылеподавления на открытом воздухе

В ходе трех групп замеров было обнаружено, что, когда значение x_1 составляет 0,75, концентрация частиц достигает предельно допустимых концентраций (ПДК), подтверждая это коэффициентом детерминации $r_2=0,95$, что указывает на высокую степень соответствия полученных данных. В рамках анализа влияния различных факторов, таких как местоположение источника пыли, скорость и влажность воздуха, на концентрацию взвешенных частиц во время резки газоблоков, было выявлено, что использование пушки пылеподавления значительно снижает уровень пыли. Эта технология особенно эффективна в стесненных городских условиях, позволяя достичь ПДК в помещении на расстоянии до 7 м и на открытом воздухе – до 15 м от установки.

4.3 Конструкции зелёных крыш

Идея интегрирования природы в городскую архитектуру, в частности через создание зеленых кровель, уже не воспринимается как что-то новаторское. Эта практика, направленная на очистку воздуха и восстановление природных ресурсов в городах, стала частью обыденной стратегии улучшения экологической обстановки и повышения качества жизни населения. Последние исследования подчеркивают важность таких кровель при защите от загрязнения воздуха, особенно в отношении мелких частиц $PM_{0,5}$ - PM_{10} [7, 56]. Со временем, вклад этих экологических решений в улучшение общественного здоровья и экологической обстановки городов получил новое признание, подчеркивая их значимость как эффективного средства для снижения уровня городского загрязнения и рационального использования городских территорий [60, 79].

Для достижения целей экологически безопасного и устойчивого строительства, важно, чтобы застройщики, архитекторы и градостроительные ведомства интегрировали использование зеленых кровель в свои стандартные практики. Такой подход находит подтверждение в исследованиях, которые

анализируют воздействие традиционных кровель и асфальтированных поверхностей на окружающую среду и выявляют, что строительство на этих территориях не только способствуют загрязнению воздуха частицами PM_{0,5}-PM₁₀, но и значительно ухудшают качество городской атмосферы, оказывая отрицательное влияние на здоровье людей [56, 123].

В связи с увеличением объемов точечного строительства, включая возведение новых зданий и обновление (реконструкцией) устаревшей застройки в стесненных условиях, возникает острая потребность в эффективном использовании ограниченных ресурсов природы и их функциональном расширении. Применение экологически чистых и экономически выгодных архитектурных решений в точечном строительстве, таких как системы зеленых кровель, стала одной из ключевых стратегий для дополнения убывающих природных запасов. Это не только способствует сокращению строительной пыли в районах рядом с жилыми зонами, но и значительно улучшает условия жизни городского населения, внося свой вклад в рациональное использование природных ресурсов [74].

Концепция «зеленая крыша» включает в себя создание сложных многоуровневых систем на верхних этажах зданий, которые состоят из основания и различных слоев – от растений до гидроизоляционных мембран. Эти компоненты работают вместе для поддержания жизни растений на крыше, эффективно компенсируя потерю зеленых зон, которая происходит в процессе строительства. В условиях стесненности пространства городов, реконструкция обычных крыш в зеленые становится оптимальным способом восстановления природного покрытия, особенно когда другие варианты использования земли недоступны. Это требует тщательного планирования и расчета нагрузок, чтобы обеспечить безопасность и долговечность таких систем.

Несмотря на то, что зеленые крыши все больше привлекают внимание по всему миру благодаря их экологическим преимуществам, основная часть исследований в этой области сосредоточена на их способности уменьшать уровни загрязнителей воздуха, таких как PM₁₀, NO₂, O₃, и SO₂. Исследования показывают, что растения на зеленых крышах, аналогично другим формам городского

озеленения, могут существенно снижать загрязнение атмосферы, уменьшая концентрацию вредных веществ на 35-100 % [60].

При реализации проекта строительства жилого комплекса «Красный Аксай» в городе Ростове-на-Дону была запущена уникальная экологическая инициатива. В марте 2020 г. сотрудники подрядной организации под руководством автора провели эксперимент по изучению эффективности растений в очищении воздуха от пыли. Для этого было высажено шесть видов местных травянистых растений как внутри, так и снаружи строительного участка. Выбранные растения, характерные для региона Ростовской области, были отобраны для проверки их способности улавливать пылевые частицы на своей поверхности, рисунок 4.13. В течение вегетационного периода с мая по сентябрь, во время строительства стилобатной части здания и выполнения каменно-монтажных работ, производилось 10 измерений уровня пыли дважды в неделю, каждый раз в течение 120 минут. Каждый вид растений занимал площадь в 6 м², формируя общую экспериментальную зону в 36 м².

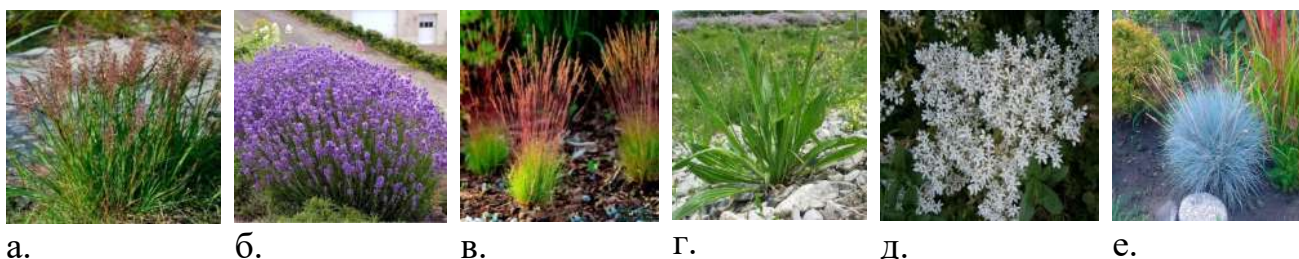


Рисунок 4.13 – Травянистые растения, высаженные на зеленой крыше для снижения воздействия выбросов пыли: а – Полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*); б – Лаванда узколистая (*Lavandula angustifolia*); в – Овсяница красная (*Festuca rubra*); г – Подорожник ланцетный (*Plantago lanceolata*); д – Очиток белый (*Sedum album*); е – Овсяница сизая Фестина (*Festuca festina*)

В рамках мониторинга экологической обстановки в районе строительства на улице Береговой, 117Б, стр. 5, были установлены три контрольные точки для измерения уровней РМ_{2,5} и РМ₁₀. Исследования проводились в соответствии с методикой, утвержденной в РД 52.04.893-2020 [112]. Одна контрольная точка находилась на границе строительной площадки (точка А), а две другие – вблизи зеленой зоны: одна перед ней и одна за ней (точка Б), а также в 10 м от границы в жилом комплексе "Красный Аксай" (точка В), рисунок 4.14. В течение всего

периода наблюдений отмечались изменения климатических условий: температура воздуха колебалась от $+14^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, скорость ветра составляла 3-5 м/с, а влажность воздуха находилась в диапазоне от 30 % до 60 %.



Рисунок 4.14 – Строительная площадке точечной застройки: 1, 2 – места высадки растений; А, Б, В – контрольные точки измерения концентрации РМ10

В ходе исследования, проведенного в рамках строительства многоэтажного жилого комплекса с мая по сентябрь 2020 года, была разработана методика для измерения количества пыли, оседающей на листья растений. Этот процесс включал проведение 50 измерений дважды в неделю в утренние часы. Используя кисть, с листьев собирали пыль, которая затем переносилась в заранее подготовленную и взвешенную чашку. Для определения точного веса пыли, собранная материя подвергалась процедуре высыхания, чтобы испарить влагу, после чего проводилось повторное взвешивание. Каждый вид растений анализировался отдельно, начиная с испарения жидкости и заканчивая стабилизацией массы высушенного осадка в лабораторных условиях.

В ходе исследования для сбора проб использовался электрический аспиратор ПУ-3Е/12 с фильтрами из перхлорвиниловых волокон АФА-ВП10, который был предварительно откалиброван. Аэродинамические тесты этого оборудования показали, что ошибка измерений в каждом отдельном случае не превышает 12%, что удовлетворяет нормам РД 52.04.893-2020. Используя данные показатели, была

рассчитана удельная концентрация пыли на поверхности листьев, выраженная в миллиграммах на квадратный сантиметр. Результаты, отображающие эффективность оседания частиц пыли на листьях изучаемых растений, представлены на рисунке 4.15.

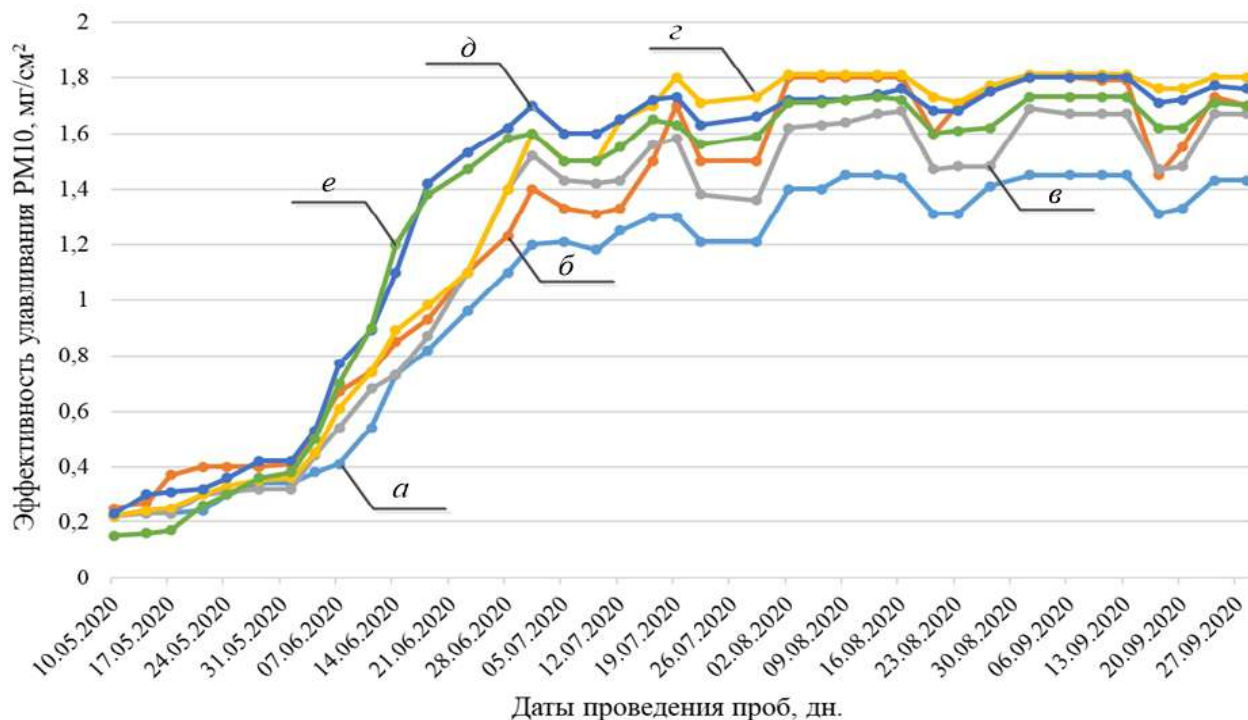


Рисунок 4.15 – Плотность пылеоседания PM10 растениями в зоне точечной застройки: *а* – Полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*); *б* – Лаванда узколистая (*Lavandula angustifolia*); *в* – Овсяница красная (*Festuca rubra*); *г* – Подорожник ланцетный (*Plantago lanceolata*); *д* – Очиток белый (*Sedum album*); *е* – Овсяница сизая Фестина (*Festuca festina*)

Исследование показало, что наличие растений оказывает значительное влияние на качество воздуха во время строительства, особенно при доминирующем восточном ветре со скоростью 3-5 м/с и влажности воздуха от 30% до 60%. В зоне с растительностью отмечалось снижение содержания частиц PM10: уровень падал на 10 % при влажности 30-35% и на 20% при влажности 35-60%. На расстоянии 10 м от зеленой зоны, по сравнению с ближайшей строительной площадкой, концентрация частиц уменьшалась на 15% при влажности 30-35% и до 30 % при влажности 35-60%.

Во время исследования динамики осаждения пыли на растениях в течение вегетационного периода с мая по сентябрь было отмечено значительное изменение

их количества. На начальном этапе сезона, включающем май и июнь, наблюдалось, что количество пыли на растениях достигало до $0,42 \text{ мг/см}^2$. Однако к середине и концу лета, в период с июля по сентябрь, этот показатель увеличивался до $1,81 \text{ мг/см}^2$. Это соотносится с ростом растительности и расширением площади растительного покрова, что, вероятно, способствует увеличению осаждения пыли, который может быть перемещен ветром.

В период с июля по сентябрь, когда растения достигали пика своего развития, они эффективно улавливали пыль благодаря своей обильной зеленой массе. Утренняя роса, образующаяся на листьях растений в результате конденсации влаги в прохладное время, способствовала задержанию частиц пыли. Это препятствовало их распространению ветром, который иногда достигал скорости 5 м/с и более, или смыванию осадками. Таким образом, растительный покров играл ключевую роль в процессе осаждения пыли, удерживая частицы на своей поверхности и не позволяя им вернуться в атмосферу или осесть на землю [58, 62].

На рисунке 4.16 представлены результаты мониторинга уровня максимально разовой концентрации PM_{10} на протяжении проведенных исследований в трех контрольных точках: на строительной площадке, в зоне растительности и в жилом районе.

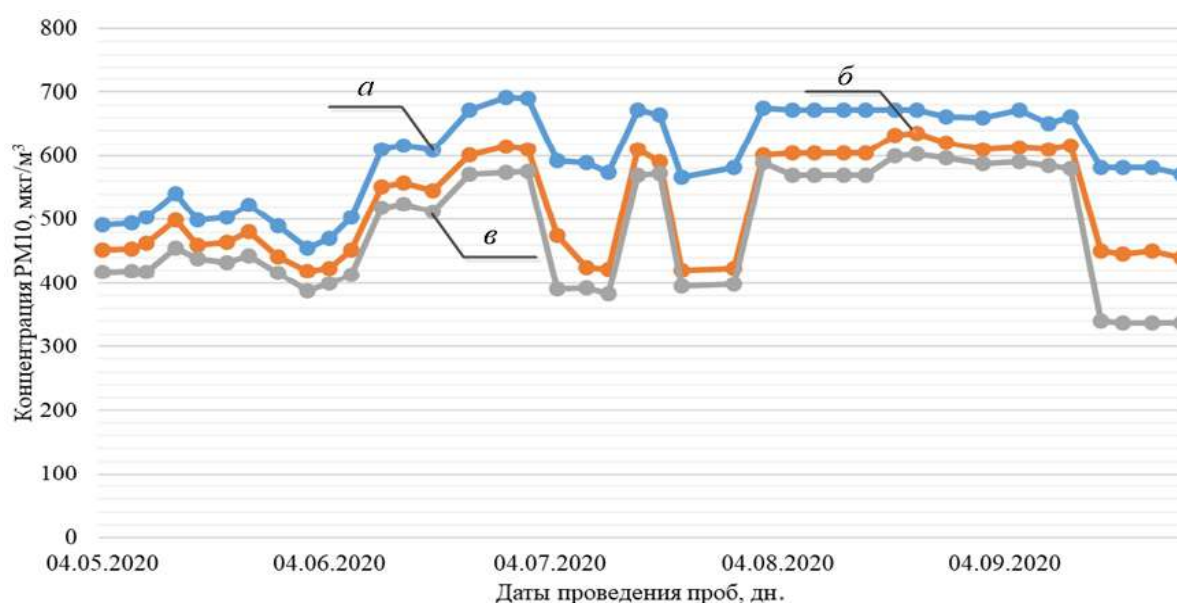


Рисунок 4.16 – Динамика изменения концентрации PM_{10} при строительстве: а – Точка А. Строительная площадка; б – Точка Б. Зона вегетации растений; в – Точка В. Жилая зона

Необходимо подчеркнуть, что эффективность монтажа зеленых кровель и их вклад в уменьшение уровня загрязнения частицами PM_{2,5} и PM₁₀ напрямую зависят выбора места для их размещения и учета растений, характерных для этой местности, учитывая сложность их внедрения. По отношению к Российской Федерации, для определения наиболее подходящих городских зон, где монтаж таких конструкций будет максимально эффективен, используются конкретные критерии:

- расположения территории в соответствующей климатической зоне, отталкиваясь от схемы зонирования, представленной на рисунке 4.17 [123, 124];
- расположение территории в крупных городах с населением свыше 250 тысяч человек;
- наличие зеленых насаждений в жилой зоне должны занимать не менее 40 % от всей площади квартальной застройки. При этом главным критерием правильности выбора конструкции зеленой крыши будет обеспечение концентрации (общей, частиц PM_{2,5} и PM₁₀) ниже предельно допустимых значений.

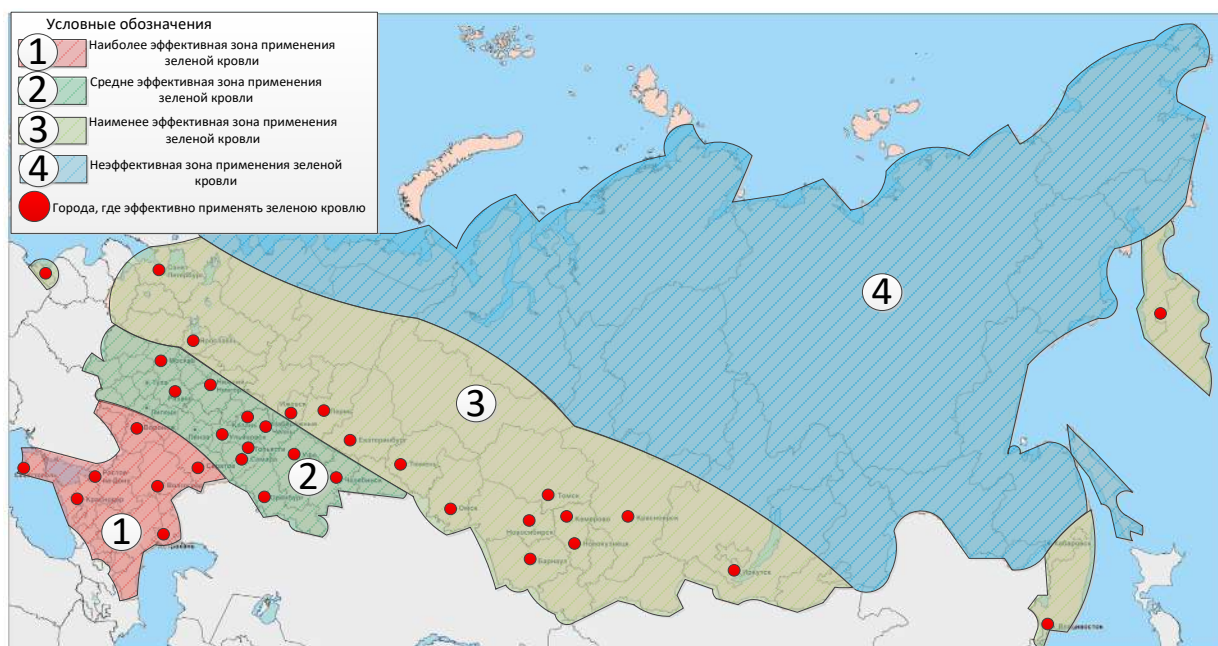


Рисунок 4.17 – Схема зонирования территории Российской Федерации с целью эффективного применения конструкций зеленой крыши

В настоящее время особенно важно применять организованный подход к планированию, проектированию и строительству экологически чистых зон в городских районах. Для достижения этой цели необходимо разрабатывать инновационные, экономически выгодные и технически простые конструкции.

Такие подходы должны легко вписываться в проекты точечного строительства и быть реализуемыми как при возведении новых зданий, так и в процессе реконструкции уже имеющихся зданий с учетом их особенностей функционала, что становится одной из задач данного исследования.

4.4 Выводы по главе 4

1. Предложено и разработано техническое решение для улавливания частиц строительной пыли при точечном строительстве – пылезащитный экран. Данное устройство спроектировано для эффективного пылеулавливания с использованием химических реагентов, таких как жидкое стекло, хлористый кальций и отходы мономерных жирных кислот. Исследования показали, что применение раствора с реагентами увеличивает эффективность пылеулавливания до 80-94% за счет улучшения смачиваемости экрана и адсорбции частиц пыли. Кроме того, эффект всасывания частиц внутрь раствора значительно усиливается при механическом перемешивании нижних слоев с верхними.

2. Предложено и разработано техническое решение – пушка пылеподавления, которое было подвергнуто натурным испытаниям для определения оптимального местоположения оборудования и режима подачи воды с целью эффективного осаждения пыли на строительной площадке точечной застройки. Результаты исследований показали, что уровень концентрации мелкодисперсной пыли в воздухе на строительной площадке соответствует нормам при влажности воздуха от 55% до 60%. Оптимальное расположение установки для

создания тумана, контролирующего данное значение до 32-40 метров от источника выброса пыли.

3. Доказана возможность использования конструкций зеленых кровель для осаждения частиц пыли в условиях точечной застройки. Доказано на примере изучения 6 видов растений, что в вегетационный периода растений, высаженных с апреля по октябрь, осаждение частиц PM10 в совокупности от 0,42 г/см² (апрель-май) до 1,81 г/см² (июнь-июль). Кроме того, концентрация частиц PM10 на границе строительной площадки и над зоной озеленения снижается в среднем от 10% до 20% в зависимости от уровня влажности воздушной среды. Конструкции зеленой крыши могут выполнять функцию не только инструментом осаждения пыли, но также служить барьером, защищающим окружающую территорию от выбросов пыли, которое образуется в результате при строительстве. Регулярное влажное обслуживание во время полива позволяет смывать пыль, осевшую на листьях растений, что в свою очередь способствует эффективному процессу осаждения пыли в течение 6-7 месяцев.

4. Результаты исследований показывают взаимодействие с раствором частиц пыли, располагаясь в утолщенных участках пленок раствора в ячейках сетки после затвердевания, а также частично втягиваясь внутрь раствора. Если на запыленную поверхность нанести слой раствора для смачивания пылезащитного экрана и дать ему полностью затвердеть, то можно увидеть, что частицы остаются внутри раствора, покрываясь пленкой от его твердения.

5. На основании экспериментальных исследований был выбран состав раствора на 100 г для нанесения на пылезащитный экран: 1. 3% водный щелочной раствор силикатов натрия Na₂O (SiO₂) – 50 г, хлористый кальций CaCl₂ – 20 г, отходы мономерной жидкой кислоты – угольная кислоты H₂CO₃ – 30 г.

6. В основе работы разработанной установки для пылеулавливания лежит инновационное дополнение – встроенные источники постоянного электромагнитного поля, расширяющие функционал традиционных компонентов, таких как корпус, насос, фильтры, форсунки и системы подачи воды. Это новшество обеспечивает генерацию постоянного электромагнитного поля, что

значительно усиливает способность устройства привлекать к воде частицы пыли, особенно те, что обладают наименьшим размером и представляют собой диэлектрический материал. Таким образом, благодаря этому электромагнитному полю, вода приобретает уникальные свойства, позволяющие ей эффективно собирать даже самые мелкие частицы пыли, в диапазоне от PM_{0,5} до PM₁₀, обеспечивая тем самым чистоту и снижение уровня загрязнения воздуха.

7. Для создания эффекта тумана, автором установлено, что критически важно подавать воду под высоким давлением. В основании устройства установлен пневматический насос, который и генерирует необходимое давление. Затем, вода, находясь под этим давлением, проходит через очищающий фильтр. Этот этап важен для удаления микроскопических тяжелых частиц, предотвращая их скопление в форсунках, что могло бы снизить производительность системы. Для подачи воды используется специальное соединение, расположенное у основания устройства. Также пушка для создания тумана подсоединяется к общедомовому водоснабжению при помощи оригинального коннектора.

8. Исследование показало, что наличие растений оказывает значительное влияние на качество воздуха во время строительства, особенно при доминирующем восточном ветре со скоростью 3-5 м/с и влажности воздуха от 30% до 60%. В зоне с растительностью отмечалось снижение содержания частиц пыли PM₁₀: уровень падал на 10 % при влажности 30-35% и на 20% при влажности 35-60%. На расстоянии 10 м от зеленой зоны, по сравнению с ближайшей строительной площадкой, концентрация частиц уменьшалась на 15% при влажности 30-35% и до 30 % при влажности 35-60%.

9. Несмотря на то, что зеленые крыши все больше привлекают внимание по всему миру благодаря их экологическим преимуществам, основная часть исследований в этой области сосредоточена на их способности уменьшать уровни загрязнителей воздуха, таких как PM₁₀, NO₂, O₃, и SO₂. Исследования показывают, что зеленые крыши, аналогично другим формам городского озеленения, могут существенно снижать загрязнение пылью в атмосфере, уменьшая концентрацию вредных веществ на 35-100 %.

ГЛАВА 5 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

5.1 Подходы к оценке экологического ущерба при точечной застройке

На сегодняшний день ключевым аспектом устойчивого использования территорий стало интегрирование экологических принципов в урбанистические стратегии и проекты строительства, а также предварительное оценивание экологических и экономических рисков на всех этапах инвестиционно-строительного проекта. Экологическая безопасность в проектировании и планировании строительного производства достигается через применение мер, направленных на устранение уже возникших экологических проблем, хотя акцент должен быть смещен в сторону предотвращения этих проблем заранее [47, 111].

Текущий подход к анализу технологических решений, выбору материалов, местоположения объектов и производственных процессов редко учитывает экологические аспекты [47, 64]. Чаще всего, приоритет отдается экономической выгоде, фокусируясь на устранении последствий, а не на предотвращении экологического вреда. Вместо этого, необходимо стремиться к интеграции экологических, экономических и социальных критериев в систему оценки воздействия на окружающую среду строительного производства [64].

В настоящее время не являются приоритетами традиционные стремления к увеличению производственных объемов и расширению мощностей для удовлетворения потребностей, поскольку в экономических анализах все чаще преобладают экологические аспекты. Основой для оценки влияния строительных проектов на окружающую среду теперь служит включение экологически ориентированных подходов в проектные разработки, целью которых является не только предотвращение экологических проблем в будущем, но и повышение

качества планирования с целью сохранения окружающей среды и здоровья населения на близлежащих территориях в ее изначальном состоянии [48, 64].

Интегрирование экономических и экологических мер оценивания требует решения двух важных вопросов:

1. Анализ воздействия объекта строительства или реконструкции на окружающую среду и его социально-экономические последствия.

2. Проведение комплексной экономической оценки для планируемых инвестиционно-строительных проектов, учитывая их влияние на окружающую среду.

Такой анализ может осуществляться на протяжении всех этапов разработки проектов. Процесс оценки экологического воздействия предполагает выполнение работ в несколько этапов. Первоначально, ключевым шагом является выстраивание фундамента путем идентификации и обоснования целей предстоящей активности, учитывая экологические нормы и ограничения, а также уделяя внимание общественным и экономическим выгодам, которые могут быть получены. Эта информация должна лежать в основе всех эколого-экономических оценок [48, 55].

Далее следует этап разработки разнообразных практически осуществимых, социально значимых и технически выполнимых проектов, которые соответствуют установленным целям. В процессе этой разработки осуществляется тщательный анализ возможного влияния каждого варианта на окружающую среду, а также предполагаемых последствий этих воздействий. Проекты, не соответствующие экологическим критериям и ограничениям, подлежат исключению из дальнейшего рассмотрения [41].

Прежде всего, проводится изучение и анализ экономических и социальных эффектов, возникающих в результате внедрения предложенных проектов. Важно также оценить общие издержки, связанные с каждым из предложенных путей действий. Затем следует провести оценку экономической отдачи каждого варианта, руководствуясь установленными критериями оценки. В процессе анализа особое внимание уделяется сравнению общих расходов на выполнение каждого из вариантов, учитывая их влияние на окружающую среду. Определяя степень

влияния и последствия, связанные с каждым из рассмотренных путей, можно выбрать наиболее целесообразный и эффективный план действий. Схема предлагаемого анализа оценки строительных проектов на окружающую среду представлена на рисунке 5.1 [38, 53].



Рисунок 5.1 – Схема анализа ущерба от строительных процессов во время точечной застройки

В методике, предложенной автором, предлагается определять коэффициент для оценки ущерба, наносимого окружающей среде и сократить затраты статей расходов на ее восстановление [63, 72]. Этот подход раскрывает экономические аспекты, связанные с необходимостью снижения пылевого загрязнения от строительного производства точечной застройки. Вместе с уже рассмотренными техническими решениями он дает представление о влиянии пылевого загрязнения и подчеркивает важность финансирования мер по восстановлению окружающей среды.

Пылевое загрязнение от различных источников в городской среде оказывают значительное влияние на атмосферу городских территорий [72]. Следовательно, логично рассчитать оценку ущерба от точечной застройки для рассматриваемой территории, выраженную через суммарный показатель I_j , чтобы понять влияние выбросов от объекта точечной застройки d в период выполнения строительных работ t . Для достижения поставленной задачи автором проведен анализ характеристик, подсчитывающих количество факторов, влияющих на образование пылевых выбросов p (концентрация частиц PM_{2,5}, концентрация частиц PM₁₀, общая концентрация пылевого загрязнения), вызывающих превышение ПДК на j – участках на территории существующей жилой застройки S за период T , в контрольных точках s . В нашем случае p имеет значения 0-3. С применением данной формулы мы можем вычислить наиболее «грязный технологический процесс» с превышением концентрации загрязняющих веществ, основываясь на его концентрации p_j с которым ассоциированы контрольные точки s на прилегающей территории к точечной застройке [172]:

$$I_j = \frac{1}{T \times S} \int_0^T dt \int_{S_j}^T p_j(s) dS \quad (5.1)$$

Такой подход требует разработки методологии оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) начиная с предварительных этапов принятия решений и включает в себя эколого-экономический анализ на всех стадиях проекта, от технико-экономического обоснования до ввода объекта в эксплуатацию. В оценке воздействия на качество окружающую среду необходимо учитывать график строительных работ и сетевой график пылевыведения при каждом технологическом процессе, а также оценивать экологические риски для каждого строительного процесса. Это помогает предотвратить возможные негативные последствия для воздушной среды точечной застройки и территории вблизи нее.

5.2 Организация мониторинга и прогнозирования содержания мелкодисперсных частиц при различных видах строительных работ точечной застройки

Экологический мониторинг и прогноз пылевого загрязнения от точечной застройки на окружающую среду и население должны включать применение передовых подходов для оценки воздействия. Это позволяет не только адекватно оценить текущее состояние окружающей среды, но и обеспечить ее защиту от возможного негативного воздействия строительных процессов [66, 83].

В свете текущих методов прогнозирования пылевого загрязнения в атмосфере появляется потребность в интеграции новых подходов, особенно с учетом роста объемов строительства в городах и соответствующего увеличения загрязнения [83]. В этом контексте, применение алгоритмов машинного обучения должно расширить возможности уточнения и систематизации методов прогнозирования и мониторинга.

Использование алгоритмов машинного обучения для мониторинга и прогнозирования пылевого загрязнения от точечной застройки городской воздушной среды представляет собой перспективное направление, включающее в себя такие технологии, как нейронные сети, методы опорных векторов и цифровая модель «Prophet». Впрочем, стоит отметить, что эти инструменты не лишены определенных ограничений и могут давать ошибки. На основе работы К.Ю. Богачева [59], который анализировал эффективность линейных и нелинейных подходов в прогнозировании, выявлено преимущество нелинейных моделей, в частности нейронных сетей, которые обеспечивают более точные результаты. Это подчеркивает их значимость как одного из основных инструментов для мониторинга и прогнозирования в данной области. Кроме того, нельзя игнорировать факт, что нейронные сети обладают способностью к переобучению и эффективно находят локальные минимумы, что также важно учитывать при их применении.

Автором предлагается внедрить алгоритмы машинного обучения в процесс мониторинга и прогнозирования пылевого загрязнения от строительных площадок, особенно сосредоточив внимание на мелкодисперсной пыли PM_{2,5}, что требует на практике подтвердить возможность и точность их применения.

Во-первых, точность прогнозов позволяет адаптировать график строительства в соответствии с текущими и ожидаемыми погодными условиями, а также спланировать и внедрить защитные меры. Это, в свою очередь, способствует снижению пылевого загрязнения и минимизации его воздействия как на работников, так и на жителей близлежащих районов. Во-вторых, используя данные модели, можно мониторить изменения в загрязнении, выделяя, к примеру, временные промежутки или определённые районы в городе, где во время строительных работ наблюдается повышенное или пониженное содержание вредных частиц в атмосфере. Для реализации этой задачи был выбран ряд моделей машинного обучения, рисунок 5.2 [59].

Для тестирования моделей машинного обучения в прогнозе среднесуточной концентрации пыли на примере PM_{2,5} автором использовал данные собственных натурных измерений концентрации пылевого загрязнения на строительной площадке точечной застройки и близлежащие территории по ул. Магнитогорская 2А, г. Ростов-на-Дону. Сбор информации о концентрации PM_{2,5} проводился 1-6 июня 2021 г микроскопическим методом и с использованием портативного прибора Handheld 3016 IAQ. Диапазоны изменения параметров воздушной среды на стройплощадке и на близлежащих территориях с подветренной стороны приведен в таблицах 5.1. Дополнительные замеры, проведенные 7 и 8 июня, позволили проверить точность прогноза среднесуточной концентрации PM_{2,5} жилой зоне на основе ансамблевых методов в прогнозировании, рассмотренных далее. Примеры данных, которые были использованы для установления взаимосвязи между параметрами пыли на стройплощадке и в жилой зоне представлены на рисунках 5.3 - 5.5. Был проанализирован дисперсный состав пыли в разное время года и при разных климатических условиях [39, 59].



Рисунок 5.2 – Алгоритмы машинного обучения, используемые в прогнозе пылевого загрязнения в зоне влияния точечной застройки

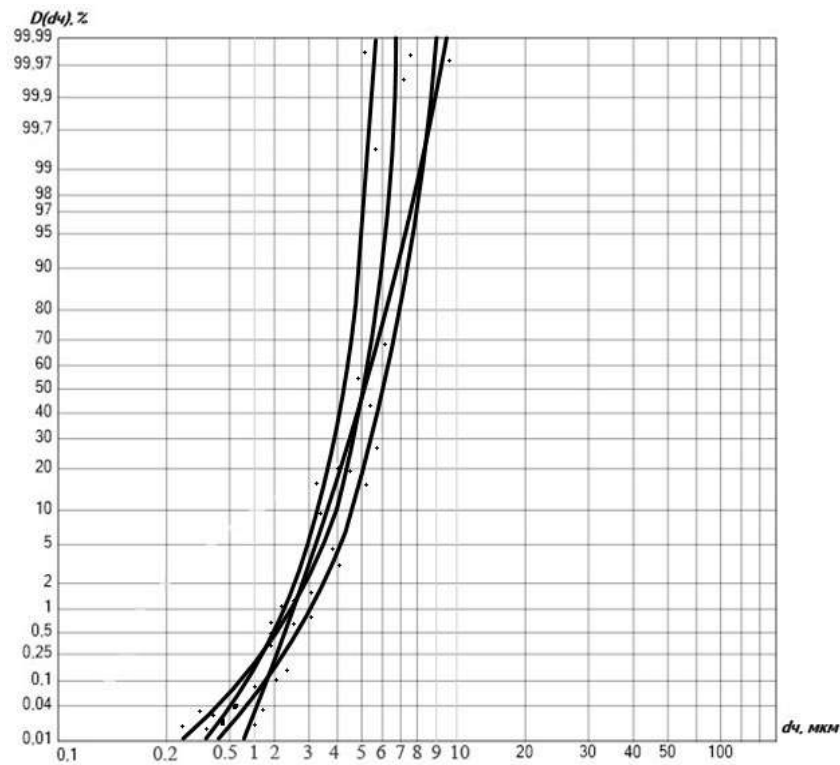


Рисунок 5.3 – ИФРМЧЭД для пыли, отобранной в зоне точечного строительства – при работах нулевого цикла: время 20⁰⁰ – 23⁰⁰ (наименьшая производственная загруженность, $V_{в}=7\text{ м/с}$, $\varphi=45\%$)

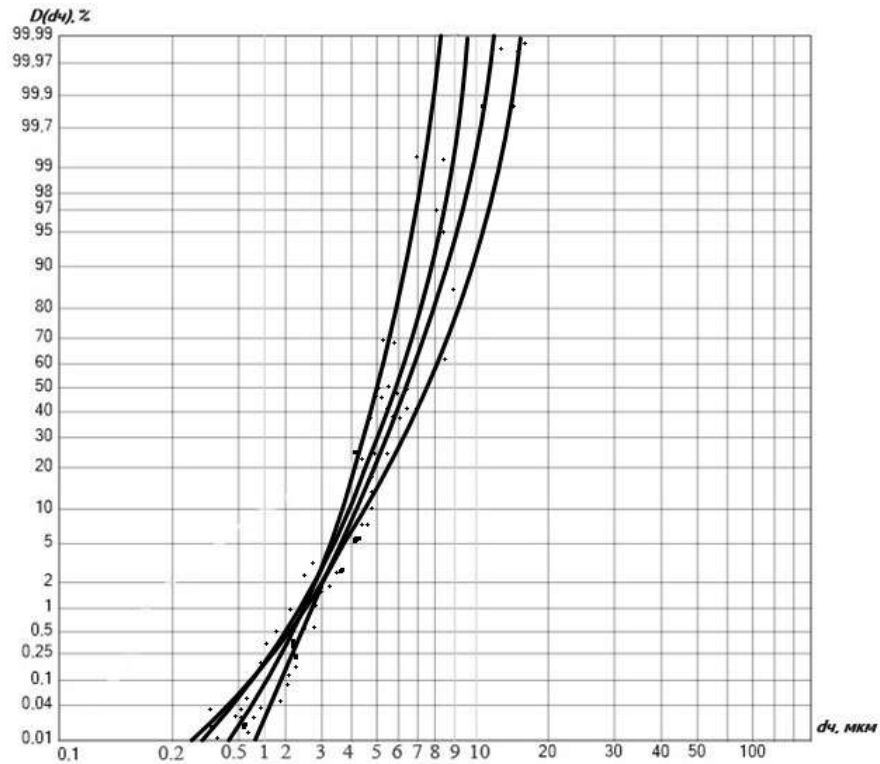
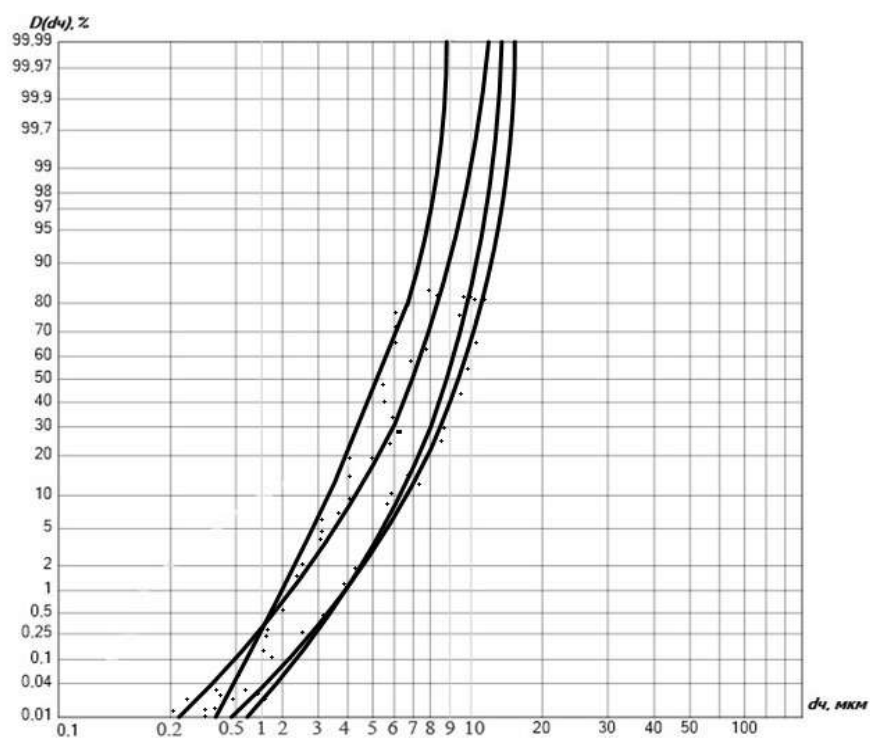
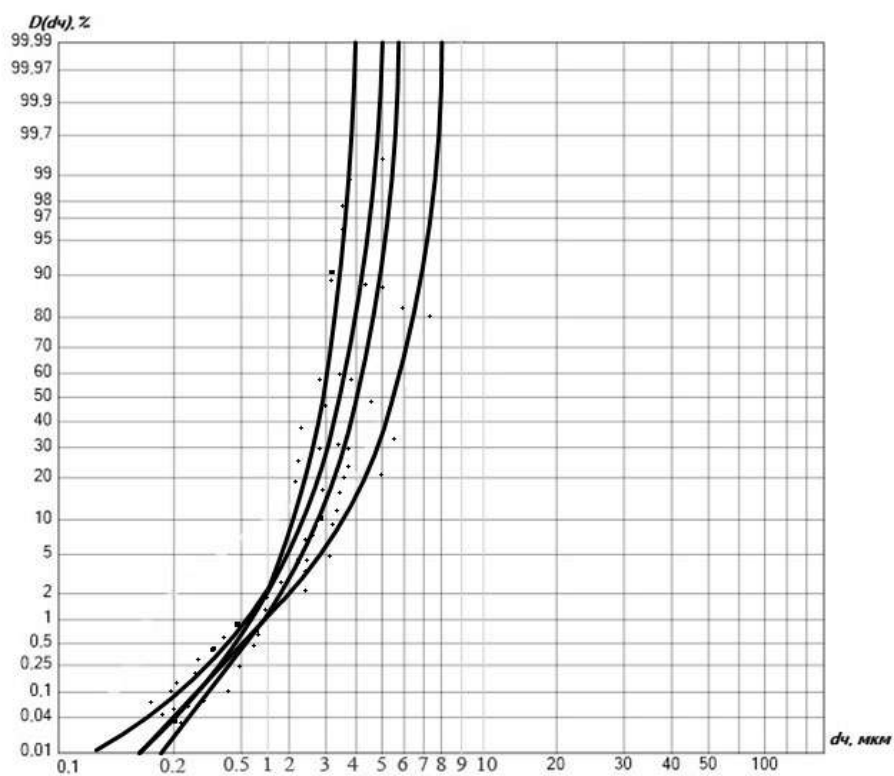


Рисунок 5.4 – ИФРМЧЭД для пыли, отобранной в зоне точечного строительства при производстве работ нулевого цикла: октябрь, $t^0 + 8^0\text{C}$ (строительная площадка)



а.



б.

Рисунок 5.5 – ИФРМЧЭД для пыли, отобранной в зоне точечного строительства при производстве работ нулевого цикла в разные периоды года и температурные режимы: а – июль, $t^0 + 31^{\circ}\text{C}$ (строительная площадка); б – март, $t^0 + 16^{\circ}\text{C}$ (жилая зона)

Таблица 5.1 – Диапазоны изменения параметров воздушной среды при замерах концентрации PM_{2,5} в зоне точечной застройки

Концентрация PM _{2,5} в контрольных точках, мг/м ³			Относительная влажность воздуха, %			Температура, °C		
Диапазон	Средн. знач.	Отклон.	Диапазон	Средн. значен.	Отклон.	Диапазон	Средн. значен.	Отклон.
Строительная площадка								
0,17-1,85	0,88	0,12	40-60	45	14	25-33	28	4
Жилая зона вблизи строительной площадки								
0,08-0,75	0,51	0,12	40-60	45	14	25-33	28	4

Аналогичные исследования, проведенные в осенне-весенний период 2021 г, а также в летний период 2022 г, позволили собрать базу данных из 4 циклов по 60-64 замера для обучения прогнозированию моделей машинного обучения.

Реализация анализа включала четыре основных шага: начиная с сбора и обработки информации, затем подготовка этой информации для использования в модели, далее прогнозирование с помощью расчетной модели, и, наконец, анализ полученных результатов прогноза. В ходе работы использовались программные средства: язык программирования «R», предназначенный для статистической обработки данных и визуализации, и пакет «Modeltime». Эти инструменты позволили провести анализ, в результате которого были получены почасовые данные о концентрации частиц PM_{2,5}, а также показатели температуры и влажности, совмещенные с метеорологическими и пылевыми измерениями. Графическое представление временных рядов данных по PM_{2,5} представлено на рисунке 5.6.

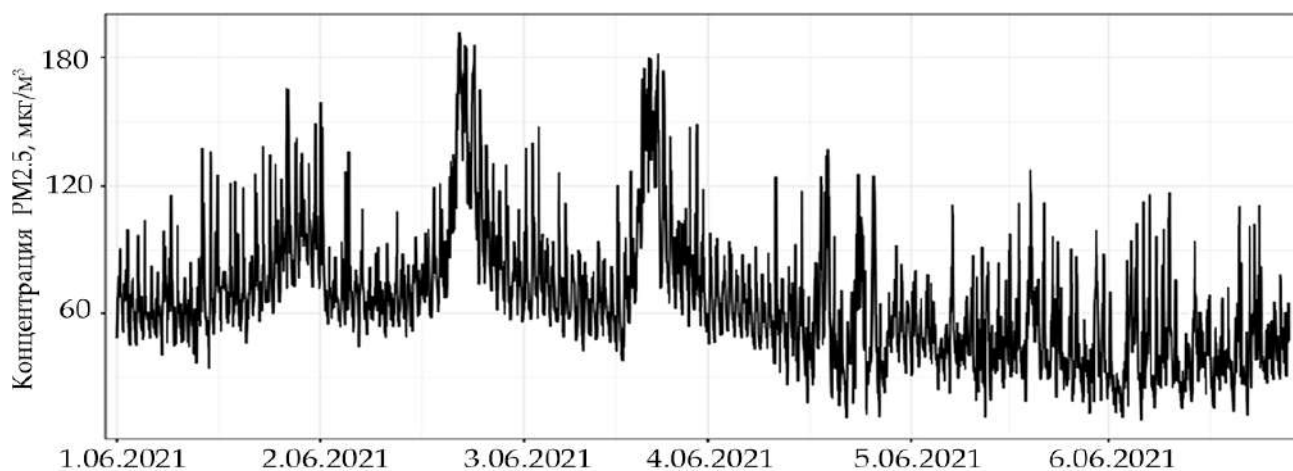


Рисунок 5.6 – Показатели концентрации частиц PM_{2,5} в период исследования

Модели среднесуточной концентрации PM_{2,5} оценивались на основе обучающего набора данных. Затем эти модели были применены к предыдущим 24 часам для проверки их точности со следующими ограничениями: средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE), средняя абсолютная масштабированная ошибка (mean absolute scaled error, MASE), среднеквадратичная ошибка (root mean squared logarithmic error, RMSE).

С помощью программного пакета «Modeltime» был проведен анализ, который выявил взаимосвязь между метеорологическими показателями и концентрацией частиц PM_{2,5}. Для автокорреляции была применена методика корреляции Пирсона, результаты представлены на рисунке 5.7. Исследование показало, что между концентрацией частиц PM_{2,5} и такими факторами, как температура и относительная влажность, существует незначительная обратная связь, с коэффициентами корреляции 0,048 и 0,107 соответственно.

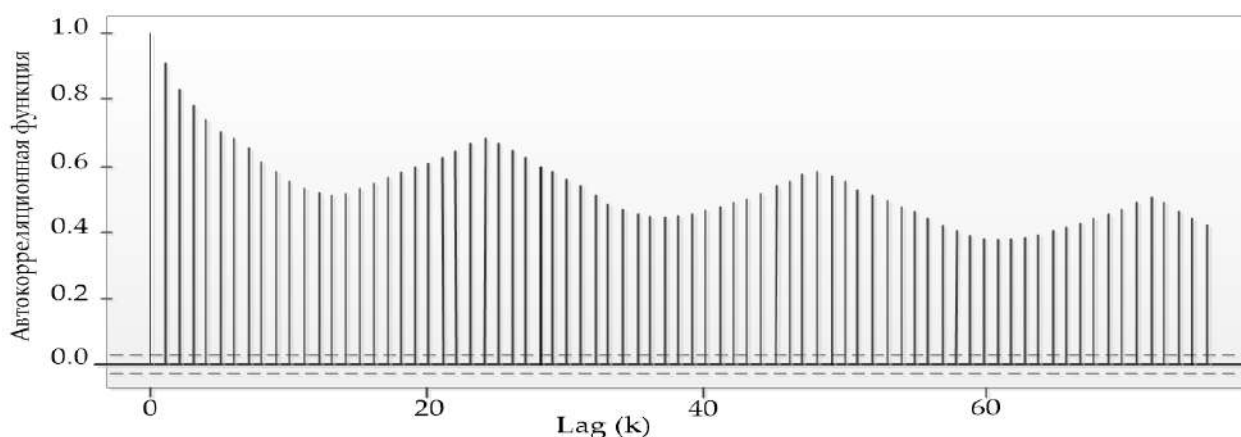


Рисунок 5.7 – Автокорреляция концентрации частиц PM_{2,5}

По результатам моделирования установлено, что между температурой и относительной влажностью существует высокая обратная связь с коэффициентом корреляции – 0,929. Это явление можно объяснить сезонными особенностями, которые влияют на данные, где максимальные значения обычно наблюдаются через каждые 24 часа. Отрицательные корреляции характерны для всех анализируемых переменных. Для более точного прогнозирования 24-часовых изменений концентрации PM_{2,5} на строительном объекте были отобраны и применены четыре модели: ARIMA, EMA, Prophet и NNAR после того, как

проведен детальный анализ автокорреляции для их интеграции в многомерные системы анализа.

Фактические данные о концентрациях PM_{2,5}, полученные через ручные измерения (см. рисунок 5.8), использовались для сравнения с прогнозами. В таблице 5.2 представлена эффективность прогностических одномерных моделей.

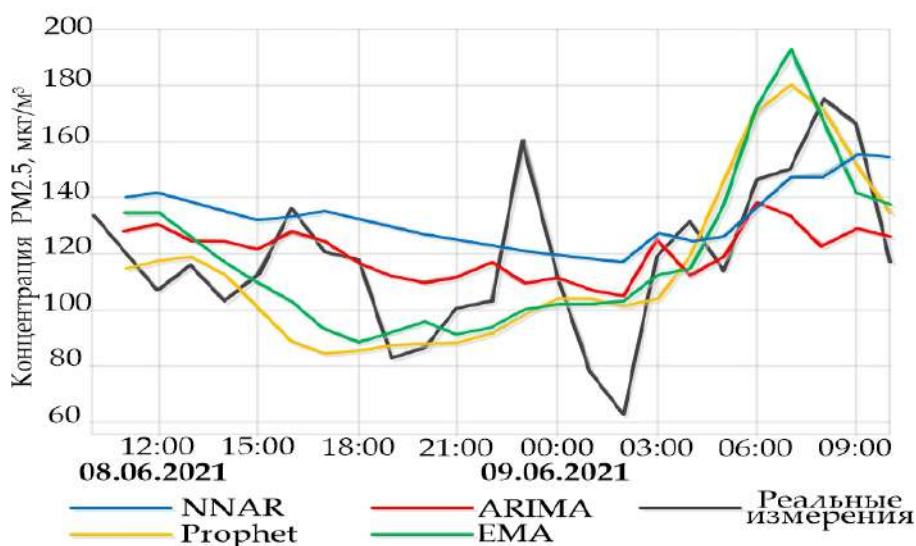


Рисунок 5.8 – Прогнозирование концентрации частиц PM_{2,5} с помощью одномерных моделей

Таблица 5.2 – Показатели ограничений при прогнозировании одномерных моделей

№ п/п	Наименование модели	MAE	MASE	RMSE
1	ARIMA	1,82	0,83	2,3518
2	Prophet	1,96	0,89	2,4895
3	EMA	2,08	0,95	2,4839
4	NNAR	2,29	1,04	2,7129

Результаты оценки точности модели ARIMA показали значения MAE, MASE и RMSE соответственно: 1,83, 0,83 и 2,3518. Это говорит о том, что модель ARIMA превосходит другие модели в прогнозировании среднесуточной концентрации PM_{2,5}.

Следующим этапом оценки стало применение многомерных моделей, включая Prophet, XGBoost, SVM, RF и NN, для прогнозирования ежедневной концентрации PM_{2,5}. Эти модели учитывали взаимосвязи между различными переменными, как зависимыми, так и независимыми. В числе переменных для анализа были метеорологические данные, такие как влажность и температура, а также данные, полученные в результате измерений и анализа на строительной

площадке. Результаты, полученные с помощью этих моделей, были сопоставлены с фактическими измерениями, проведенными на строительной площадке, и точность этих моделей представлены в таблице 5.3 и на рисунке 5.9.

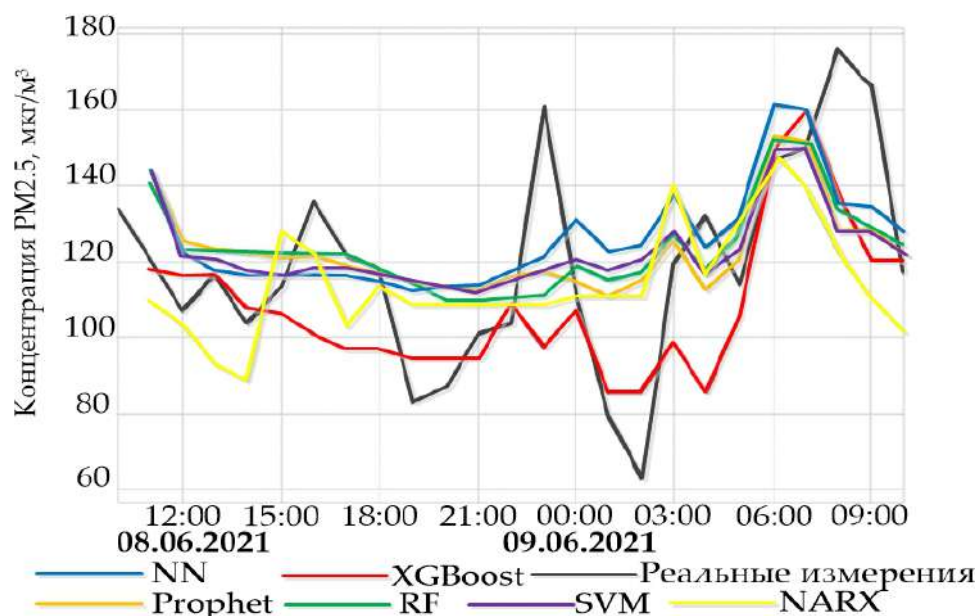


Рисунок 5.9 – Прогнозирование концентрации частиц PM2,5 с помощью многомерных моделей

Таблица 5.3 – Показатели ограничений при прогнозировании многомерных моделей

№ п/п	Наименование модели	MAE	MASE	RMSE
1	XGBoost	1,69	0,77	2,3809
2	RF	1,81	0,82	2,3730
3	Prophet	1,82	0,83	2,3582
4	SVM	1,83	0,83	2,4226
5	NN	2,02	0,92	2,4825
6	NARX	2,02	0,92	2,5920

Результаты моделирования показали, что в сравнении с одномерными и многомерными подходами, модели XGBoost и RF демонстрируют лучшие результаты прогнозирования, превосходя модель ARIMA. Однако, в контексте многомерных моделей, алгоритм XGBoost в показателях MAE, MASE и RMSE оказались наименее удовлетворительными, достигая значений 1,69, 0,77 и 2,3809 соответственно. Это свидетельствует о важности включения в моделирование таких переменных, как температура, временные параметры и влажность.

Ансамблевые методы в машинном обучении объединяют различные алгоритмы с целью повышения точности прогнозов. В данном исследовании были выбраны три наиболее эффективные модели – XGBoost, Random Forest (RF) и ARIMA, которые затем были объединены в ансамблевую модель. Каждой модели был назначен вес в зависимости от ее эффективности: XGBoost (вес-3), RF (вес-2) и ARIMA (вес -1). Оценка прогноза ансамблевых моделей представлена на рисунке 5.10 и в таблице 5.4.

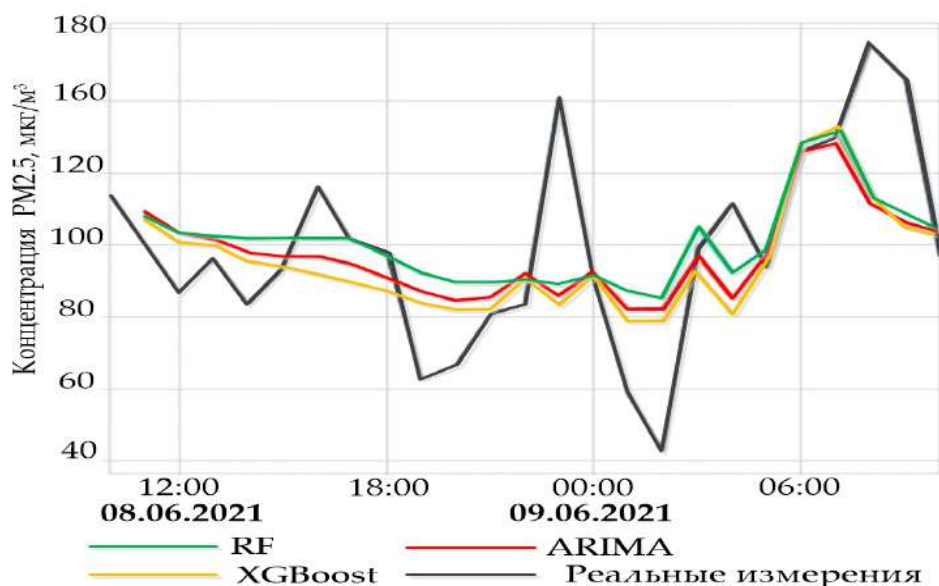


Рисунок 5.10 – Прогнозирование концентрации частиц PM_{2,5} с помощью ансамблевой модели

Таблица 5.4 – Показатели ограничений при прогнозировании ансамблевой модели

№ п/п	Наименование модели	MAE	MASE	RMSE
1	XGBoost (3)	1,57	0,71	2,1876
2	RF (2)	1,60	0,73	2,1985
3	ARIMA (1)	1,61	0,73	2,1830

По результатам оценки видно, что модель XGBoost дает наименее точный прогноз. Применение ансамблевых моделей значительно повышает точность прогноза среднесуточной концентрации частиц PM_{2,5} в воздухе строительной площадки. Надежные прогностические модели могут стать полезным инструментом для выявления факторов, влияющих на концентрацию частиц PM_{2,5}. В целом применение алгоритмов машинного обучения в прогнозировании среднесуточной концентрации частиц PM_{2,5} показали эффективные результаты, несмотря на применение в расчетах только метеорологических показателей.

Несмотря на это ограничение, разработанные модели продемонстрировали приемлемую точность, что свидетельствует о их достоверности. Эти результаты говорят о том, что предложенные модели могут быть эффективны как для создания проектных решений, опираясь на спрогнозированные результаты о концентрации аналогичных объектов, так и для прогноза концентрации частиц $PM_{2,5}$ строительными организациями во время уже производства работ.

При организации и планировании точечного строительства важно учитывать все аспекты, связанные с экологической безопасностью, интегрируя их в проектную и рабочую документацию. Важно не только предусмотреть меры по предотвращению местного загрязнения воздуха частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} в процессе строительства, но и тщательно спланировать временные рамки для реализации этих мер [65, 66].

Для анализа степени загрязненности городской воздушной среды частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} на протяжении года, ключевой метод состоит в вычислении их среднегодовой концентрации через арифметическое усреднение всех зафиксированных 24-часовых значений, при условии, что собраны все необходимые данные. В дополнение, для получения полной картины загрязнения, необходимо применять расчет 99-процентного квантиля из всех 24-часовых измерений в течение года.

Для оценки качества воздуха и его загрязнения на протяжении года применяется методика, включающая расчет среднесуточных концентраций вредных веществ. Эти данные за 24 часа сопоставляются с действующими стандартами для таких усредненных показателей, чтобы определить соответствие нормам. Каждый точечный участок наблюдения, а также общие данные по всем участкам, подвергаются оценке на соответствие стандартам качества воздуха за прошедший календарный год, что позволяет оценить атмосферное загрязнение. Применение алгоритмов машинного обучения позволяет анализировать данные о среднесуточных значениях концентрации $PM_{2,5}$ определённые моменты времени. Эти данные предоставляют возможность изучать ежедневные изменения концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} .

5.3 Исследование возможности использования результатов анализа загрязнения воздушной среды при точечной застройке в сводных расчетах загрязнения атмосферного воздуха

Точечное строительство в крупных городах становится причиной серьезного увеличения загрязнения воздуха из-за деятельности, связанной с высвобождением пыли. Образующееся от строительных работ пылевое загрязнение распространяется за пределы строительной площадки в жилые зоны, находящихся вблизи со строительным производством [34, 73].

В период 2023-2024 гг., исследовательский институт «ВНИИ Экология» принял активное участие в обновлении экологических регламентов более 30 городов, в т. ч. Ростова-на-Дону под патронажем федерального проекта «Чистый воздух» и с поддержкой Министерства природных ресурсов Российской Федерации [97, 102].

В июне 2024 г. года был опубликован доклад Министерства природных ресурсов и экологии России, который выявил серьезные проблемы с загрязнением воздуха в Ростове-на-Дону [127]. Согласно документу, в городе идентифицировано 382 источника постоянного загрязнения, а общее число источников загрязнения достигает 7280, из которых только 4855 находятся под контролем властей, оставляя 2425 без должного внимания.

В Ростове-на-Дону, из общего числа 382 ключевых источника загрязнения атмосферного воздуха, только примерно 44 задействованы в стройотрасли, включая квартальную застройку жилых зон и объектов многофункционального назначения, рисунок 5.11. Зачастую эти зоны строительства способствуют ухудшению экологической ситуации, главным образом из-за выбросов пыли в атмосферу. Такая пыль, в которой содержание двуокиси кремния колеблется от 20 % до 70 %, встречается в таких материалах, как шамот и цемент, а также среди отходов, оставшихся после производства. Особо высокий уровень двуокиси кремния свыше 70 % обнаруживается в динасе. К тому же значительную угрозу

для окружающей среды представляют выделение взвешенных частиц и диоксида азота во время строительных процессов.

Для понимания влияния строительных процессов, особенно в условиях точечной застройки, на повышение пылевого загрязнения атмосферы в густонаселенных городских территориях, был проведен сводный расчет пылевого загрязнения атмосферного воздуха, выделяемого при точечном строительстве в Ростове-на-Дону. В исследовании учитывались не только объемы пылевых выбросов от строительства, но и климатические и метеорологические характеристики территории.

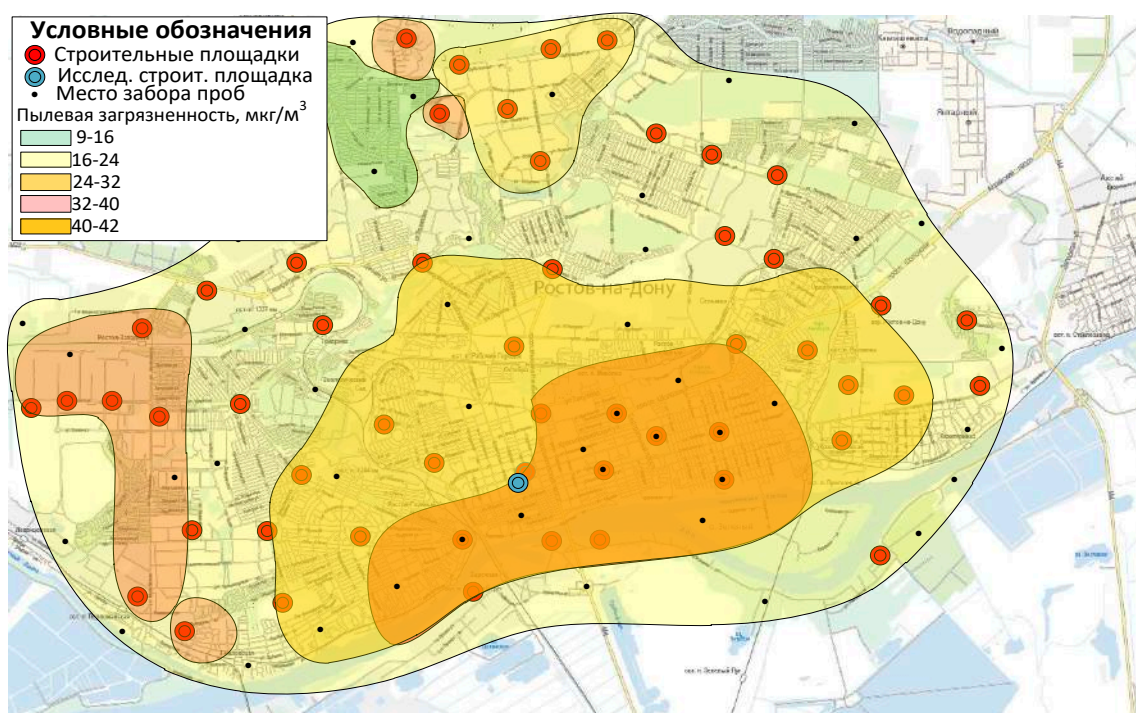


Рисунок 5.11 – Концентрация взвешенных частиц от точечной застройки в воздушной среде г. Ростов-на-Дону

Для исследования верхних пределов загрязнения воздуха, вызванного строительными действиями, в качестве примера для проведения сводного расчета была выбрана строительная площадка по адресу г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, д. 97, рисунок 5.12.

Расчетное моделирование проводилось Научно-методическим центром по экологическому моделированию, прогнозированию и оценкам ФГБУ «ВНИИ Экология» с использованием расчетного комплекса «Эколог-город», созданный компанией «Интеграл». В его рамках были выработаны параметры для

моделирования, основываясь на экспериментальных исследованиях, проведенных в пп. 2.1-2.2 и критериях, касающихся точечной застройки и влияния на окружающую среду.



Рисунок 5.12 – Объект расчетного моделирования, строительная площадка точечной застройки в г. Ростове-на-Дону

Проведенный комплексный анализ показал превышения загрязнения воздуха, включая пыль, частицы PM_{10} и другие взвешенные вещества, особенно в периоды высокой активности строительных работ, учитывая расположения строительной площадки в жилой зоне плотной городской застройки. Результаты моделирования представлены на рисунках 5.13 и 5.14 и в таблице 5.5.

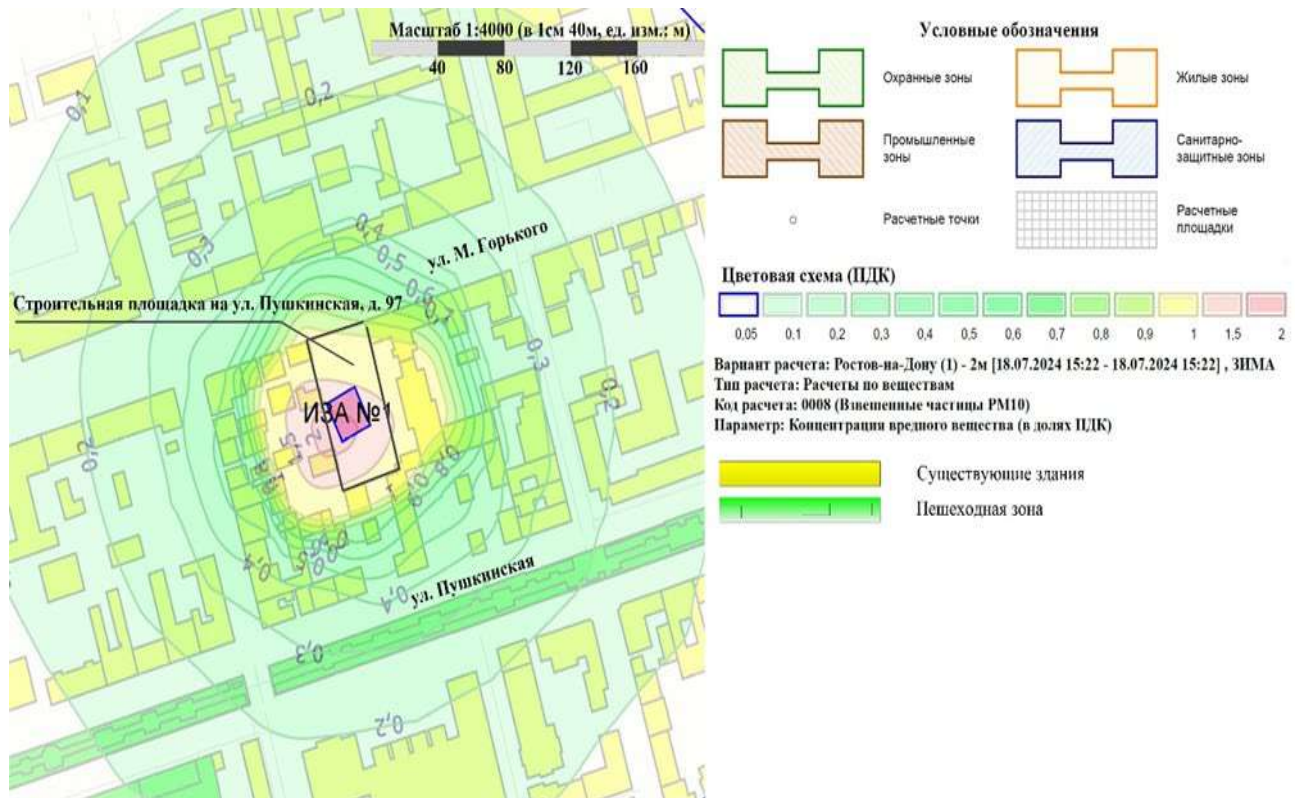


Рисунок 5.13 – Результаты сводного расчета пылевых выбросов частиц PM10 с учетом точечной застройки

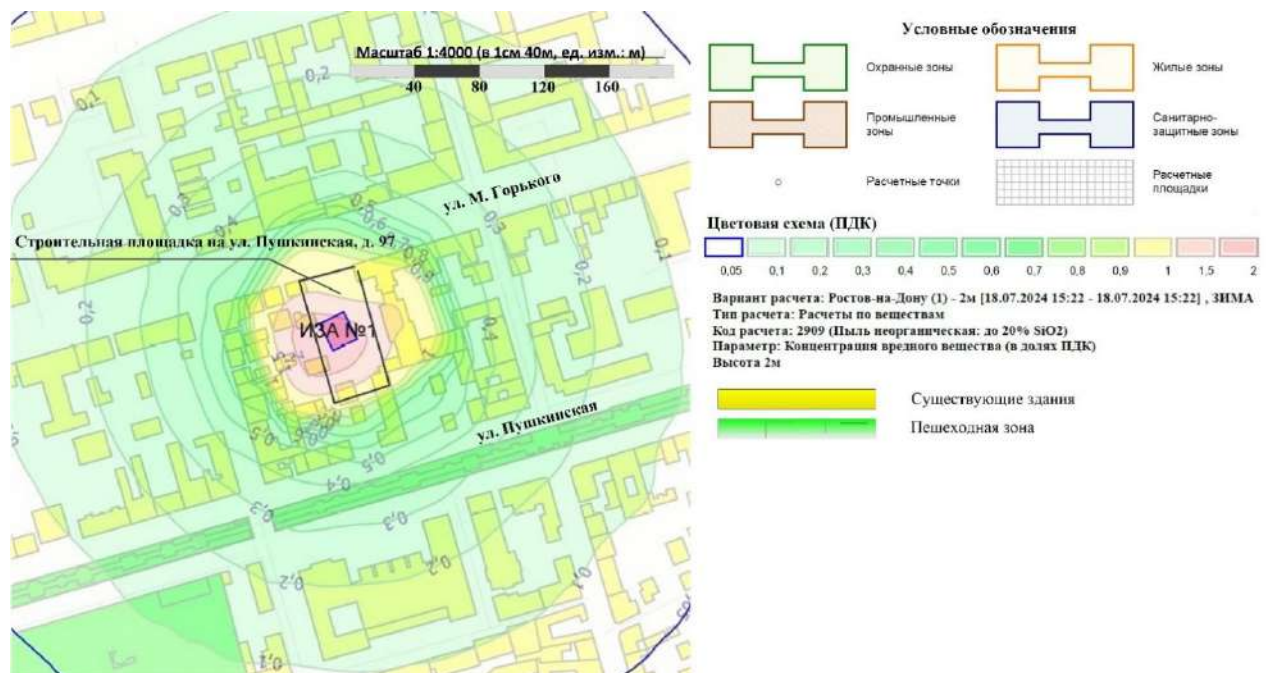


Рисунок 5.14 – Результаты сводного расчета пылевых выбросов неорганической пыли SiO₂ с учетом точечной застройки

Таблица 5.5 – Концентрация пылевого загрязнения в воздухе зоны точечной застройки

Концентрации, ПДКс.с.	Расстояние от источника, м
2 ПДК	0-40
1,5 ПДК	40-80
1 ПДК	более 80

В таблице 5.6 представлены данные по интенсивности распределения пылевых частиц в зависимости от удаленности от источника на строительном участке. При анализе данных видно, что ближе к источнику загрязнения, на расстоянии до 40 м, концентрация вредных частиц в воздухе превышает нормативы в два раза. Для территории, расположенной на расстоянии от 40 м до 80 м, показатель составляет полторы раза выше нормы, а за пределами 80 м – в пределах допустимых значений.

На основании проведенного исследования можно отметить, что на территории точечной застройки, в особенности в зоне выполнения работ, наблюдается значительное превышение норм пылевого загрязнения. Это влияние ощущается в радиусе до 40 м от источника загрязнения. Отмечается также, что интенсивность распространения пыли может варьироваться в зависимости от сезонных изменений направления ветров. Например, в Ростове-на-Дону замечена тенденция к преобладанию западных ветров зимой и восточных летом, что может влиять на распределение пылевого загрязнения на строительной площадке.

Вблизи зоны строительства, расположенной на расстоянии до 80 м, наблюдается повышение концентрации пыли в атмосфере, достигающее до 1.5 раза выше нормативно допустимых концентраций, независимо от направления ветра. Это указывает на то, что жители, проживающие поблизости, подвергаются влиянию загрязнения воздуха пылью в течение всего срока строительства, который для данного объекта составляет 315 дней. Однако, на удалении в 120 м от строительного объекта, концентрации пыли в воздухе опускается до нормы, с учетом фоновой концентрации пыли в воздухе городской среды.

Исходя из представленных данных, очевидно, что стесненность городской застройки способствует тому, что пыль, возникающая в ходе строительства,

воздействует на соседние здания, включая жилые дома, офисы, коммерческие и общественные здания [171].

Благодаря моделированию пылевого загрязнения от точечного строительства с помощью сводных расчетов, возможно точно оценить, насколько серьезно воздействуют строительные работы в больших городах на концентрацию пыли в атмосфере. Это, в свою очередь, позволяет не только понять масштаб проблемы, но и разработать эффективные стратегии для уменьшения такого вида загрязнения.

5.4 Организация сбора и анализа данных о загрязнении воздушной среды при точечном строительстве и реконструкции объектов

В настоящее время в России повышаются требования к решению серьезных экологических проблем. Высокий уровень антропогенного воздействия на природу повышают риск развития болезней, связанных с экологией, особенно в густонаселенных и городских районах [42, 69].

Инструментом сбора информации об анализе данных о пылевом загрязнении могут выступать системы ГИС (геоинформационные системы), обеспечивающие временной и пространственный анализ данных мониторинга пылевого загрязнения на городской территории, что способствует выявлению скрытых зависимостей, которые не всегда заметны при стандартном изучении таблиц. Это позволяет получить всестороннюю оценку городской территории, включая аспекты безопасности для его жителей [69].

Сбор и анализ данных пылевых выбросов на регулярной основе обеспечивает возможность обнаружения изменений в экологических условиях городской среды, позволяя анализировать связанные с ними процессы и прогнозировать изменения. Одним из ключевых аспектов такой работы является возможность создания

моделей, которые помогают понять последствия загрязнения от точечной застройки.

На примере внедрения в ГИС систему ArcGIS Online слоев, содержащих в том числе данные об концентрации пылевого загрязнения PM_{2,5} и PM₁₀ в воздушной среде г. Ростова-на-Дону на базе экологического мониторинга за строительными площадками, проведенного в 2020-2021 году и данных из реестра листов нетрудоспособности учреждений здравоохранения г. Ростова-на-Дону и Ростовской области появилась возможность автоматизировать анализ и обработку данных заболеваемости населения болезнями характерными долгосрочному воздействию пыли на организм человека, что позволило разработать карту экологического риска проживания населения вблизи точечного строительства, представленной на рисунке 5.15 [47, 49, 83].

В последнее время во многих городах наблюдается рост болезней, типичных для строительной сферы, среди местных жителей. Это связано с неэффективным контролем за чистотой воздуха в жилых районах. В г. Ростове-на-Дону, основные источники атмосферного загрязнения связаны с выбросами от автотранспорта, составляя свыше 70 % от всего количества вредных выбросов. Это дополняется вкладом от секторов теплоэнергетики, строительства и машиностроения. При этом, на строительный сектор приходится третье место по вкладу в загрязнение воздуха, которое, к тому же, усилилось на 50% за последние три года [88]. Для того чтобы улучшить процесс сбора и анализа данных в системе здравоохранения, важно сосредоточиться на следующих аспектах:

- необходимо обеспечить более широкий доступ к актуальной информации о здоровье населения и состоянии окружающей среды. Это включает в себя доступ как к первичным данным (не подвергшимся обобщению), так и к информации, распространяемой как в вертикальном порядке (от местного до федерального уровня), так и в горизонтальном (между различными ведомствами и организациями);

- необходимо усилить процесс внедрения унифицированных программ для сбора и анализа данных, на примере ГИС-систем. Критически важно

совершенствовать механизмы контроля за качеством и достоверностью информации. Важно также гарантировать, что сбор данных будет целенаправленным и отвечать конкретным поставленным задачам, например контроль уровня заболеваемости население болезнями дыхательных путей, проживающих вблизи точечной застройки [172].

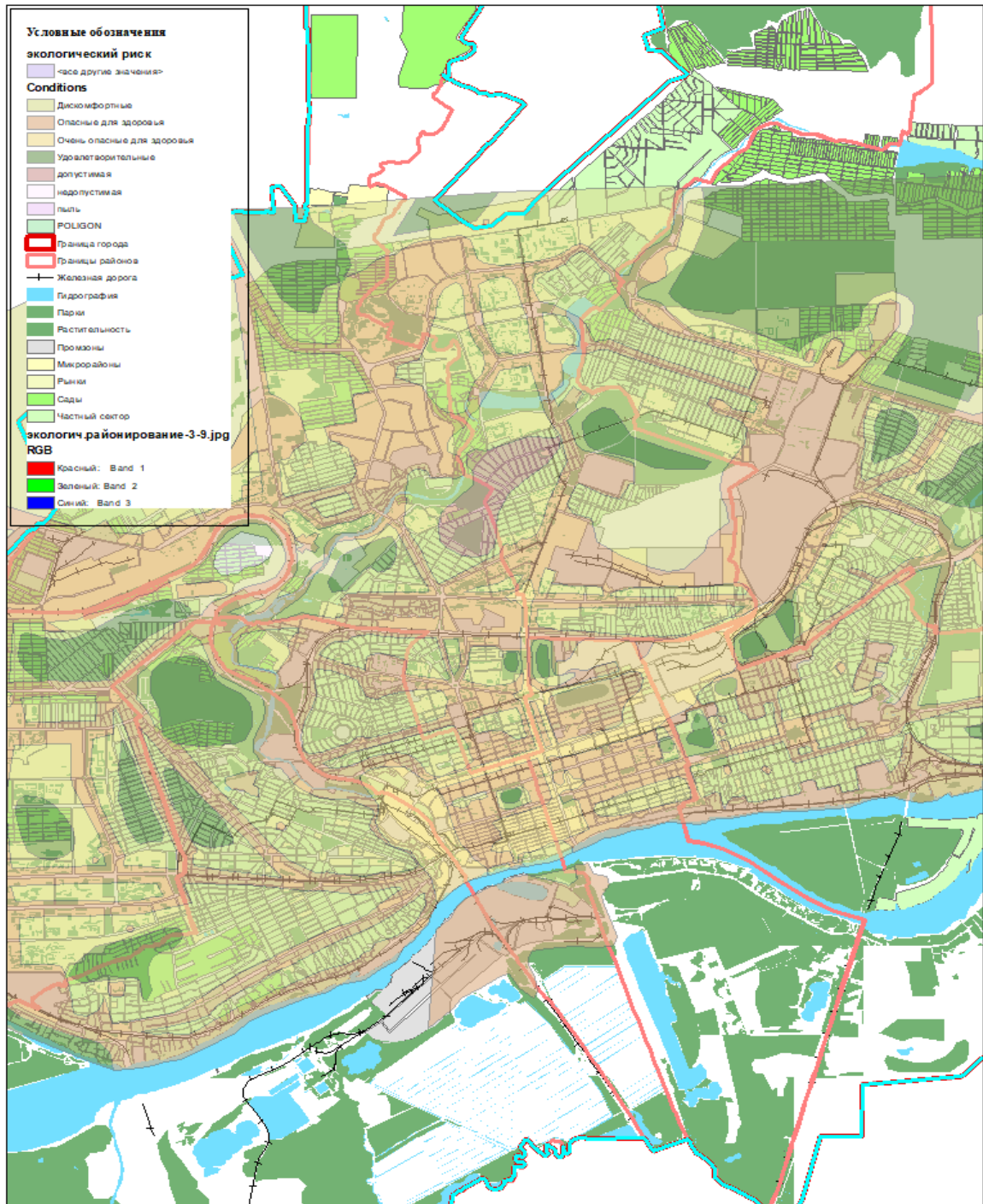


Рисунок 5.15 – Карта районирования пылевого воздействия на население в ArcGIS Online

Цель состоит в создании комплексной системы, которая будет аккумулировать информацию не только о количестве жителей, предоставляя возможность для более глубокого анализа данных, в первую очередь о параметрах экологической безопасности, различение по возрастным категориям, полу, месту жительства и социально-экономическим характеристикам. Ключевым аспектом является внедрение геоинформационных систем для оценки качества окружающей антропогенной среды, например, концентрации твердых взвешенных частиц, частиц PM10 и PM2,5 в зонах отдыха и жилых зонах, местах возможного пребывания людей. Для повышения эффективности мониторинга качества атмосферного воздуха предлагается реализовать следующие меры:

- усовершенствовать систему мониторинга загрязнений воздуха по городским территориям с учетом возрастающих объемов точечного строительства на территориях, где уже развернуто производство работ и где только идет проработка проектных решений;
- на стадии проектирования предусмотреть установку станции мониторинга загрязнения воздуха, увеличить объем мониторинга передвижными станциями;
- провести оценку и сравнение данных о реальных среднесуточных концентрациях загрязняющих веществ с данными, получаемыми благодаря многократным замерам в течение дня;
- организовать мониторинг с помощью передвижных станций с учетом сетевого графика производства строительных работ, сетевого графика пылевых выбросов при точечной застройке и прогноза пылевого загрязнения в воздухе строительной площадки и близлежащей территории;
- анализировать и сопоставлять данные о среднегодовой концентрации взвешенных частиц и данных в реальном времени, на территориях точечной застройки [168].

5.5 Управление экологическими рисками на строительной площадке при точечной застройке

Проектирование и возведение объектов в стесненной городской застройке представляет собой усложненный процесс, выделяющийся на фоне типовых строительных проектов. Это объясняется не только значительными финансовыми вложениями и продолжительным временем, необходимым для завершения работ, но и особыми трудностями, связанными с расположением стройплощадок рядом с уже существующими жилыми зданиями. Кроме того, на каждом этапе строительства объектов точечной застройки или реконструкции существующих зданий присутствуют экологические риски, способные вызвать значительные экологические нарушения, последствия которых могут оказаться более серьезными, чем при выполнении других видов строительных работ.

При разработке методики оценки экологического риска на строительной площадке необходимо учитывать различные аспекты, которые способствуют возникновению таких рисков.

Ключевые элементы здесь – это определение источников, способных загрязнить окружающую среду, условия, при которых возможно возникновение аварийных ситуаций, приводящих к загрязнению. Важно также уделить внимание механизмам контроля за этими источниками. Особое внимание следует уделить анализу потенциальных получателей экологического ущерба, будь то люди, городская окружающая среда или объекты, особенно уязвимые к загрязнению в зоне застройки, иначе говоря, нужно четко определить, кто или что является конечным реципиентом риска.

Эта система, включающая три взаимосвязанных элемента, формирует систему оценки экологического риска от точечной застройки с различными функциями и характеристиками. Эти элементы взаимодействуют, создавая сложность в управлении экологическими рисками, что требует комплексного

подхода на каждом этапе предотвращения аварий с загрязнением. Важно разработать интегрированную систему управления, учитывающую эти требования.

Для соответствия стандартам ГОСТ Р 51901.22–2012. Менеджмент риска [13], процесс оценки экологического риска включает в себя этапы, такие как определение риска, анализ необходимых ресурсов и вычисление возможных экологических последствий. Кроме того, необходимо разработать планы на случай чрезвычайных ситуаций, которые должны соответствовать установленным критериям приемлемости экологического риска для любого строительного проекта.

Также важно собрать все релевантные данные и доказательства для проектирования и экологического управления, что поможет уменьшить потенциальный риск и минимизировать возможный общественный вред. Для решения вопроса качественного управления экологическими рисками точечного строительства на городских территориях автор предлагает внедрить разработанную систему рейтингового управления в соответствии с характеристиками и потенциальным экологическим риском.

В рамках проекта точечной застройки экологические риски можно классифицировать на пять уровней: от минимального E1 до чрезвычайно высокого E5, где «E» обозначает экологическую составляющую. Эксперты, занимающиеся вопросами экологических проблем на стороне заказчика, должны регулировать и минимизировать риски уровней E1, E2 и E3, назначенные подрядчику. Особое внимание следует уделить рискам E4 и E5, так как их последствия могут серьезно сказаться на экологической обстановке, эффективности работы и даже на общем прогрессе и бюджете проекта. В таблице 5.6 представлена система ранжирования экологических рисков на строительной площадке точечной застройки, где четко разграничены экологические происшествия и катастрофы. Инциденты E1, E2 и E3 классифицированы как экологические инциденты, тогда как E4 и E5 определены как экологические аварии.

Для каждого уровня экологического риска указаны соответствующие меры реагирования и примеры возможных рисков [81].

Таблица 5.6 – Система ранжирования экологических рисков на строительной площадке

Уровни экологического риска	E1	E2	E3	E4	E5
Классификация	Незначительный	Приемлемый	Значительный	Критический	Чрезвычайно критический
Определение	Строительные работы не воздействуют на окружающую среду	Незначительное негативное воздействие на окружающую среду	Событие или несчастный случай с умеренным влиянием на окружающую среду	Проблемы экологического характера могут быть решены	Нарушения могут вызвать серьезные экологические проблемы
Содержание	Отчет о воздействии - неполный	Избыточное потребление ресурсов	Избыток шума и неприятный запах (дневное время: >70 дБ, ночное время: >55 дБ)	Утечка, сброс опасного химиката в почву или водоем. (5-20 л или 1-5 м ²)	Утечка, сброс опасного химиката в почву или водоем. (>20 л или >5 м ²) утечка, такая как разлив или сброс
	Несоблюдение технологии производства	Механизмы работают круглосуточно	Выделение загрязняющих веществ - пыль и дым		
	Отсутствие подготовки перед выполнением процесса	Нерациональное использование воды	Сточные воды с осадком отводятся без осаждения	Отходы могут загрязнять почву и водоемы	Незаконный сброс строительного мусора
	Отсутствует ежемесячный отчет	Электромагнитное поле оборудования	Отходы скапливаются на неподготовленной почве	Опасные химикаты и отходы на неподготовленной почве	Подделка документов - преступление
		Проблема с мусорными баками	Нет разрешения на работу	Материалы из асбеста и свинца в строительстве	
		Запруживание территории	Отсутствие мониторинга окружающей среды	Хранение песка и щебня без укрытия	
		Световое загрязнение	Грязный передвижной туалет на площадке	Уровень шума оборудования превышает 115 дБ(А)	
			Хранение разрыхленного грунта	Фальсифицированный отчет	
Действия	Ликвидация в срок 2 недели	Ликвидация в срок 1 недели	Ликвидация в срок 3 дня	Ликвидация в срок 1 дня	Незамедлительно

Точечное строительство может привести к экологическим рискам, которые могут быть предотвращены. Непонимание и игнорирование даже маленьких инцидентов может привести к серьезным катастрофам. Проведенные наблюдения за строительными площадками точечной застройки в г. Ростове-на-Дону в 2022 г. выявили незначительное количество экологических инцидентов, чаще встречались уровни E2–E3. Зафиксировано 48 инцидентов. Основные экологические инциденты представлены на рисунке 5.16.



Экологический риск E1. Отсутствие экологической подготовки



Экологический риск E3. Несанкционированный сброс мусора.



Экологический риск E2. Запрудивание строительной площадки



Экологический риск E4. Пылевое загрязнение из-за неправильного размещения бетоноузла

Рисунок 5.16 – Примеры экологических инцидентов на строительных площадках

Для управления экологическими рисками на стройплощадках важно, чтобы число экологических происшествий соответствовало или стремилось к нормальному распределению. Нормальное распределение, представляющее собой один из типов распределения вероятностей, характеризуется непрерывностью и зависит от двух ключевых параметров: μ и σ_2 , где μ – обозначает среднее значение, а σ_2 — дисперсию наблюдаемых значений.

Обозначение нормального распределения оценки экологического риска точечной застройки выглядит как $N(\mu, \sigma_2)$. Это означает, что вероятность найти значение ближе к μ выше, в то время как значения, отдаляющиеся от μ , встречаются реже. Распределение становится тем более сосредоточенным вокруг μ , чем ниже

значение σ . Напротив, с увеличением σ распределение становится более разбросанным.

В контексте наблюдения за экологической безопасностью на строительных объектах в течение года было зарегистрировано 48 экологических инцидентов, разбивка которых следующая: 5 случаев классифицируются как E1, 11 как E2, 27 как E3, 4 как E4 и 1 как E5. Преобладание инцидентов типа E3 подтверждает нормальное распределение, согласно которому большинство данных сосредоточено в середине с меньшим количеством случаев на крайних значениях, рисунок 5.17.

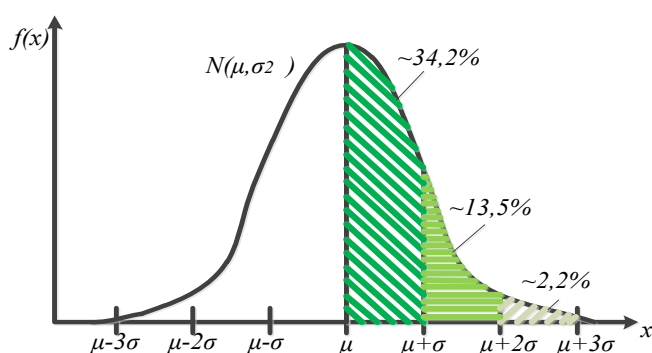


Рисунок 5.17 – Диаграмма нормального распределения

Если статистика экологических нарушений на объектах строительства подчиняется законам нормального распределения, то можно считать экологические риски в достаточной степени управляемыми, как это демонстрируется на рисунке 5.18.



Рисунок 5.18 – График происшествий, связанных с загрязнением окружающей среды на объектах строительства в г. Ростове-на-Дону за 2022 г.

Если наблюдается несоответствие в распределении количества экологических происшествий, где происшествия типа E4 и E5 преобладают, а E3 и

другие типы встречаются редко, или график показывает низкие значения в центре и высокие на краях, это сигнал о необходимости совершенствования системы управления экологическими рисками. Обычно, это свидетельствует о двух основных проблемах: либо произошло существенное снижение эффективности экологического управления в строительном процессе, что повышает вероятность возникновения экологических инцидентов, либо проведенная оценка рисков является недостаточно точной и требует корректировки на основе реальной обстановки.

Исходя из анализа данных о загрязнении воздуха частицами PM2,5 и PM10, возникающими в результате строительных работ, автором была разработана методология проведения экологического риск-анализа влияния этих частиц на городскую территорию, прилегающую к объектам точечного строительства. Для оценки применяется система индикаторов, которая помогает выявить степень загрязнения в районах активного строительного производства вблизи с жилыми зонами, рисунок 5.19 [77].






	<p>Коэффициент геоаккумуляции I_{geo} – показатель оценки концентрации загрязнителя (химического элемента) C_i в образце и общей концентрации воздушной среды исследуемой территории C_{total}</p> $I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times C_{total}} \right]$ <p>менее 0 – нет загрязнения 0-1 – незначительный 1-2 – умеренный 2-3 – умеренный или сильный 3-4 – сильный 4-5 – сильный или критичный более 5 – критичный</p>
	<p>Коэффициент загрязнения K_p – показатель отношения концентрации исследуемого химического элемента к общей концентрации данного элемента в воздухе исследуемой территории C_n</p> $K_p = \frac{C_i}{C_n}$ <p>менее 1 – низкий 1-3 – умеренный 3-6 – значительный более 6 – критичный</p>
	<p>Коэффициент экологического риска E_r дает оценку потенциальной экологической опасности загрязняющего вещества в определённой воздушной среде R</p> $E_r = \frac{R}{K_p}$ <p>менее 10 – низкий 10-20 – умеренный 20-40 – значительный 40-80 – высокий более 80 – очень высокий</p> <p>R: PM2.5=50, PM10=50</p>
	<p>Коэффициент экологической нагрузки PLI, который определяет степень изменения воздушной среды за счет суммарного негативного воздействия загрязнителей n</p> $PLI = (K_{p1} \times K_{p2} \times \dots \times K_{pn})^{1/n}$ <p>менее 0 – отсутствие 0-1 – допустимый более 1 – высокий</p>
	<p>Вероятность неблагоприятных последствий для окружающей среды городской территории RI</p> $RI = \frac{n}{N}$ <p>где n – число случаев превышения максимальной концентрации PM2.5 и PM10, N – общее число проб в период реализации строительного производства</p> <p>< 0,1 = < 10% – слабовероятно 0,1-0,4 = 10-40% – маловероятно 0,4-0,6 = 40-60% – вероятно 0,6-0,9 = 60-90% – весьма вероятно > 0,9 = > 90% – возможно</p>

Рисунок 5.19 – Система индикаторов для экологического риск-анализа влияния PM2,5 и PM10 на городскую территорию от точечной застройки

Для анализа загрязнения PM_{2,5} и PM₁₀ применяются две группы показателей. Первая группа, включающая коэффициенты *I_{geo}*, *K_P* и *E_r*, целенаправленно определяют степень негативного воздействия присутствия PM_{2,5} и PM₁₀ в воздухе. Вторая группа показателей, состоящая из *PLI* и *RI*, оценивает степень загрязнения территории вокруг строительных объектов и оценивает связанные с этим риски для здоровья населения.

В 2023 году в Москве было проведено исследование экологических рисков, связанных с ухудшением качества воздуха в районе активного строительства возле входа №1 станционного комплекса «Новаторская». Риск-анализ влияния PM_{2,5} и PM₁₀ показал, что строительство влияет на атмосферу в жилых зонах, рисунок 5.20 и таблица 5.7. [54].

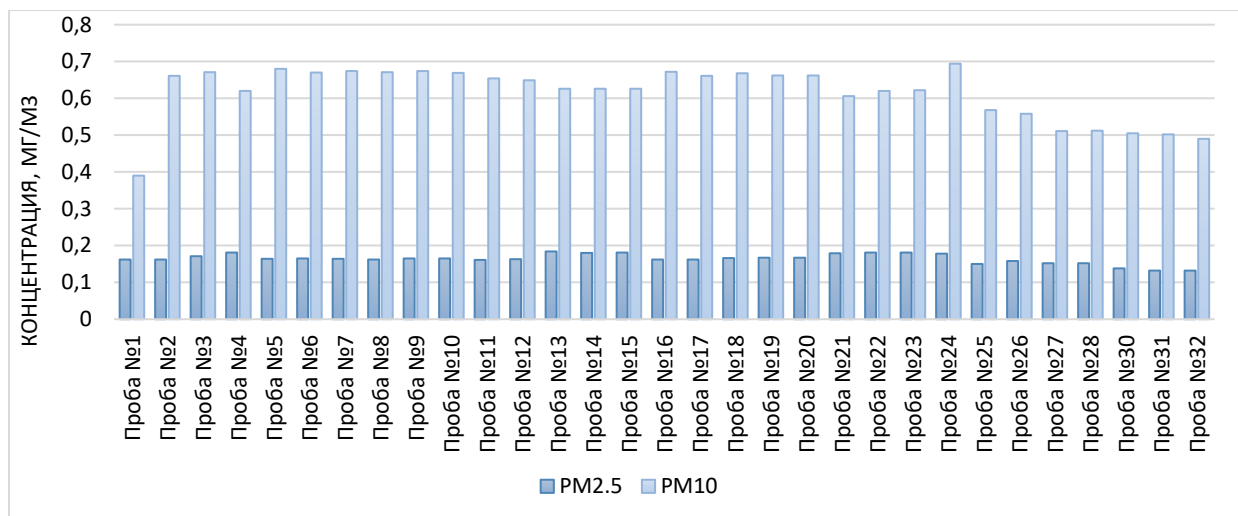


Рисунок 5.20 – Результаты отбора проб в зоне точечной застройки в г. Москва

Таблица 5.7 – Результаты оценки экологических рисков

	<i>I_{geo}</i>			<i>K_P</i>			<i>E_r</i>			<i>PLI</i>			<i>RI</i>		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
PM 2.5	1	2	1,4	1	2	3	25	50	37,6	1,5	2,47	1,98	0,43	0,79	0,7
PM10	2	5	3,4	2,1	4,1	3,1	11,8	22,6	17,2						

В результате оценки показатель *PLI*, отражающий экологическую нагрузку на городскую территорию, равен 2,48. Таким образом, риск неблагоприятных

последствий для окружающей среды рассмотренного жилого района города оценивается в 78 %, что соответствует значению $RI = 0,78$ (весьма вероятно).

Исследования показали, что строительство в городских районах приводит к значительному ухудшению экологической обстановки из-за повышения пылевого загрязнения $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Из 32 отобранных проб 25 показали, что концентрация $PM_{2,5}$ и PM_{10} в воздухе превышает допустимые нормы, что соответствует 78 % случаев. Это угрожает как здоровью горожан, так и состоянию атмосферы рассмотренной территории. В свете этих данных, крайне важно незамедлительно разработать и внедрить меры по защите окружающей среды и обеспечению безопасности населения [82].

Полученные данные подчеркивают важность повышения экологической безопасности в зонах, где происходит интенсивное строительство. Это включает в себя не только строгий контроль за качеством воздуха, но и реализацию мер, направленных на снижение влияния мелкой пыли на здоровье горожан.

5.6 Совершенствование проектов организации строительства с учетом экологического фактора

Применение сетевого моделирования представляет собой эффективный метод, который можно использовать для анализа и прогнозирования пылевых выбросов на строительных объектах. Этот метод позволяет оценить общий объем пыли, выделяемой в процессе строительства, определить максимальную и среднюю концентрацию пыли за день, а также проанализировать её распространение и выявить зоны, где концентрация загрязнения превышает допустимые нормы. Сетевое моделирование обеспечивает возможность планирования и оптимизации мероприятий по снижению пылевых выбросов на этапах проектирования и выполнения строительных работ [57, 119].

В ходе строительных работ автором планируется внедрить систему календарного планирования, которая включает в себя составление графика работ, учитывая объемы пылевых выбросов. Эта система позволит в любой момент оценить количество пыли, выделяемой в процессе строительства, и найти эффективные методы для уменьшения загрязнения.

При разработке плана строительных и монтажных работ на различных участках критически важно принимать во внимание показатели среднесуточной концентрации PM_{2,5} и PM₁₀, которые выделяются в процессе выполнения работ в зависимости от метеорологических условий.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 16.02.2008г. №87 «О составе проектной документации и требованиях к их содержанию» [92], касающимся структуры и требований к проектной документации в области капитального строительства, необходимо включение пунктов, описывающих организацию строительных работ и экологические защитные мероприятия. Это направлено на контроль и минимизацию выбросов частиц PM_{0,5}-PM₁₀ образующихся от строительных процессов, принимая во внимание окружающую среду и климатические условия, чтобы предотвратить распространение пылевых загрязнений на прилегающие застроенные территории [80].

В контексте разработки организационной части строительного проекта, ключевым этапом является моделирование, для которого требуется ряд важных данных. Эти данные охватывают:

- оценку условий и местоположения строительной площадки, а также специфику района;
- подробное изучение и анализ земельного участка;
- разработка стратегии проведения строительства в ограниченном пространстве города, учитывая его особенности;
- формирование и обоснование плана действий, который устанавливает порядок возведения объектов, включая здания, сооружения и коммуникации, с целью гарантирования соблюдения установленных сроков для строительства, реконструкции и капитального ремонта согласно графику.

В документации уточняется следующее: список разнообразных строительных и установочных действий; порядок выполнения операций при создании основных объектов строительства или их составных частей; детали проектных предложений и экологические защитные действия во время стройки, обновления, и основного обслуживания; а также временной график всех этапов строительства, начиная с подготовительного этапа, установление временных рамок и порядок выполнения работ по основным и вспомогательным зданиям и конструкциям, с разбивкой на этапы. Внедрение сетевого моделирования, ориентированного на экологические аспекты, привело к отбору пяти строительных площадок для разработки детализированных графиков строительства, в которых учитывался объем выбросов пыли и климатические характеристики, чтобы оценить влияние на окружающую среду через пылевые выбросы. Создание сетевых моделей, включающих в себя календарные планы и графики распределения пыли во время строительства, стало возможным благодаря анализу данных, собранных с этих площадок. Анализ собранных непосредственно на стройках данных о выбросах пыли показал незначительную разницу в показателях, варьирующуюся от 1 % до 2 %. Одним из объектов стала стройплощадка, расположенная по адресу Пушкинская улица, 97, в городе Ростов-на-Дону.

Для планирования графика работ по возведению 11-этажного жилого комплекса на Пушкинской улице, дом 97, использовались данные, полученные на стадии проектирования. В ходе анализа условий строительства выявлено, что из-за расположения участка среди плотной застройки и преобладания северо-восточных ветров, скорость ветра снижалась с обычных 5 м/с до 2-3 м/с в районе стройки, при этом влажность оставалась на уровне 60-65 %. Эти параметры были включены в исходные данные для разработки эффективного плана строительства.

На территории, в границах улиц Максима Горького и Пушкинской, располагался строительный участок, ровный, окруженный плотной жилой застройкой, где высота домов колеблется от 10-50 м. Проект занимает площадь в 17695,34 м², при этом сам участок под застройку имеет размер в 4320 м². Весь проект предполагается завершить в течение 315 дней. Исходя из анализа

проведенных исследований, представленных в пп. 2.1-2.2, была разработана детальная сетевая модель рисков пылевого загрязнения строительно-монтажными работами. Эта модель учитывает индивидуальные показатели выбрасываемых в атмосферу мелкодисперсных частиц пыли, $PM_{2,5}$ и PM_{10} за весь период строительства. Детальный фрагмент модели представлены на рисунке 5.21 [50, 57].

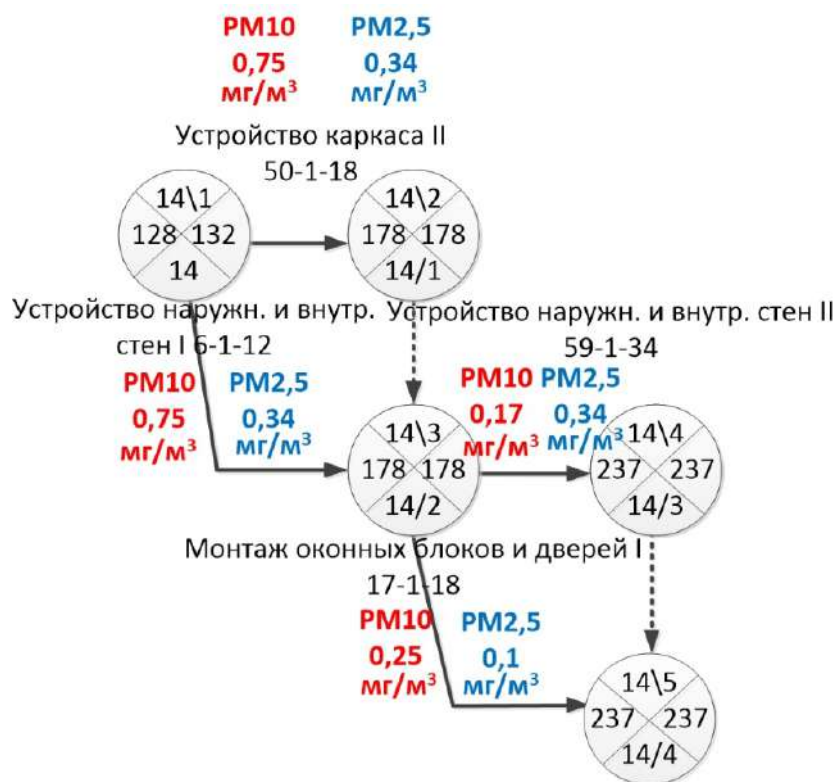


Рисунок 5.21– Фрагмент сетевой модели рисков пылевого загрязнения частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10}

Пример еще одного разработанного графика учета удельного объема выбросов в полном объеме на строительство объекта, 14-этажного жилого дома в микрорайоне «Левенцовский», г. Ростов-на-Дону, рисунок 5.22, представлен в ПРИЛОЖЕНИИ А для детального рассмотрения [57].



Рисунок 5.22 – Объект точечного строительства: 14-этажный жилой дом

В дополнение к сетевой модели в принято разрабатывать график учета удельного объема выбросов пыли при СМР, который включает в себя мониторинг и контроль за пылевыми выбросами в атмосферу на всех этапах стройки. Путем анализа эпюры, отображающей дневные объемы выбросов мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀, удастся оценить общую концентрацию загрязнения и, соответственно, принять необходимые меры для минимизации распространения пыли за пределы строительного участка. Этот подход позволяет не только следить за соблюдением предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ, но и адаптировать строительные процессы к текущим экологическим требованиям [114].

В рамках оптимизации строительных процессов, с целью минимизации выбросов мелких пылевых частиц размером PM_{2,5} и PM₁₀, автором была создана специализированная методика расчета. Для эффективного применения данной методики рекомендуется следовать установленным рекомендациям по производству работ:

1. Важно иметь информацию о виде пыли, которая образуется в процессе различных строительных процессов, обеспечивая каждому строительному процессу соответствующий паспорт пыли, который должен быть включен в систему экологического менеджмента строительства.

2. Рекомендуется, чтобы прораб получал отчеты о погодных условиях, включая направление и скорость ветра, на ежемесячной основе.

3. Ключевым моментом является контроль прогнозного пылевого загрязнения на строительной площадке с помощью сетевой модели и графика учета пылевых выбросов. Это позволит ежедневно анализировать общий объем пылевого загрязнения и использовать эти данные для внедрения мер по контролю пылевого загрязнения.

Эти шаги помогут в организации строительных процессов таким образом, чтобы снизить пылевое загрязнение в окружающей среде зоны точечной застройки:

1. С целью оптимизации оценки распространения частиц в атмосфере от конкретного источника, учитывая направление и скорость ветра, моделируется

текущее пылевое загрязнение на строительной площадке. Это позволит точно спрогнозировать, как ветровые условия влияют на концентрацию пыли в различных зонах за определенный период времени, выявляя те места, где может произойти превышение допустимых нормативов по пыли. Таким образом, моделирование дает возможность эффективно прогнозировать моменты, когда и где могут образовываться рискованные участки с превышением ПДК.

2. Во время строительных работ, инженерно-технический персонал строительной площадки, включая инженера по технике безопасности, прораба, мастера и сотрудника авторского надзора, обязаны внимательно контролировать пылевые выбросы в атмосферу, следуя установленному графику. Этот процесс позволяет определить общую концентрацию пыли на территории стройки.

Анализируя зону точечной застройки, затронутую пылевым загрязнением, можно точно рассчитать выброс загрязняющих веществ за время строительства, которое длится, например, 315 дней. Исходя из расчетов, общий объем выбросов мелкодисперсной пыли PM10 достигает 35,4 мг/с, а PM2,5 – 12,4 мг/с.

В течение всего времени строительства объекта, максимальное значение концентрации PM10 на строительной площадке достигнет отметки в 7,76 мг/м³. В то время как в среднем за время строительства показатель PM10 будет равняться 0,65 мг/м³. Аналогично в контрольных точках на близлежащих территориях концентрация PM10 достигала 1 мг/м³ (3 ПДК), а в среднем – 0,36 мг/м³, что выше ПДК (ПДК_{м.р} – 0,3 мг/м³). Из этого следует, что, придерживаясь текущих методов и подходов в управлении строительством и производственных процессах, концентрации мелкодисперсной пыли остаются в рамках допустимых норм. Однако следует учитывать и фоновую концентрацию загрязнения воздуха территории.

Регулярное мониторинговое наблюдение за загрязнением воздуха пылью позволит адаптировать график работ на стройке. Анализ распространения пыли, производимой во время строительства, с принятием во внимание скорости и направления ветра, обеспечит возможность повседневно адаптировать строительное производство с целью снижения пылевого загрязнения в зоне

точечной застройки и контролировать периоды, где наблюдается превышение нормативов загрязнения для прилегающих жилых зон.

5.7. Совершенствование экономических решений в части ПМООС и ПОС с учётом экологической безопасности при точечном строительстве

Необходимость проведения экологической оценки (ЭО) проектов точечной застройки лежит в основе процесса, который может быть запущен как по инициативе заинтересованной стороны, так и по требованию государственных структур [19]. На этапе оценивания влияния на окружающую среду точечной застройки, ключевым аспектом является разработка стратегий, направленных на минимизацию негативных последствий. Схема оценки экологических проектов городской точечной застройки представлена на рисунке 5.23 [68].

Инструментами, дополняющими экологическую оценку пылевого загрязнения городской территории в проектных решениях, могут стать

- разработка градостроительного плана территории с расчетом площади озеленения прилегающей территории жилой зоны к строительной площадке с учетом площади озеленения, применяемом на зеленых крышах и прочих конструктивных решениях, например на стилобате в плотной городской застройке,
- проектирование санитарно-защитной зоны с определением границ минимального воздействия влияния точечной застройки на объекты и население, проживающее в зоне ее влияния [32].

Для обеспечения точности в расчетах, автор предлагает создавать детальный план местности, который включает в себя как границы предоставленного участка для строительства, так и контрольные точки минимального воздействия пыли благодаря расчету коэффициента границы санитарно-защитной зоны ($K_{СЗЗ}$), учитывающего метеорологические факторы, показатели фоновой концентрации пылевого загрязнения

$$K_{C33} = \frac{C_{PM_{2,5}}}{ПДК_{PM_{2,5}}} + \frac{C_{PM_{10}} - C_{PM_{2,5}}}{ПДК_{PM_{10}}} + \frac{C_{ОБЩ} - C_{PM_{10}}}{ПДК_{ОБЩ}}, \quad (5.2)$$

где $C_{PM_{2,5}}$ – расчетная концентрация пылевого загрязнения частицами PM_{2,5}, мг/м³; ПДК_{PM_{2,5}} – ПДК загрязняющего вещества PM_{2,5}, 0,16 мг/м³; $C_{PM_{10}}$ – расчетная концентрация пылевого загрязнения частицами PM₁₀, мг/м³; ПДК_{PM₁₀} – ПДК загрязняющего вещества PM₁₀, 0,3 мг/м³; $C_{ОБЩ}$ – расчетная общая концентрация пылевого загрязнения, мг/м³; ПДК_{ОБЩ} – ПДК взвешенных веществ в атмосферном воздухе, 0,5 мг/м³ [80].

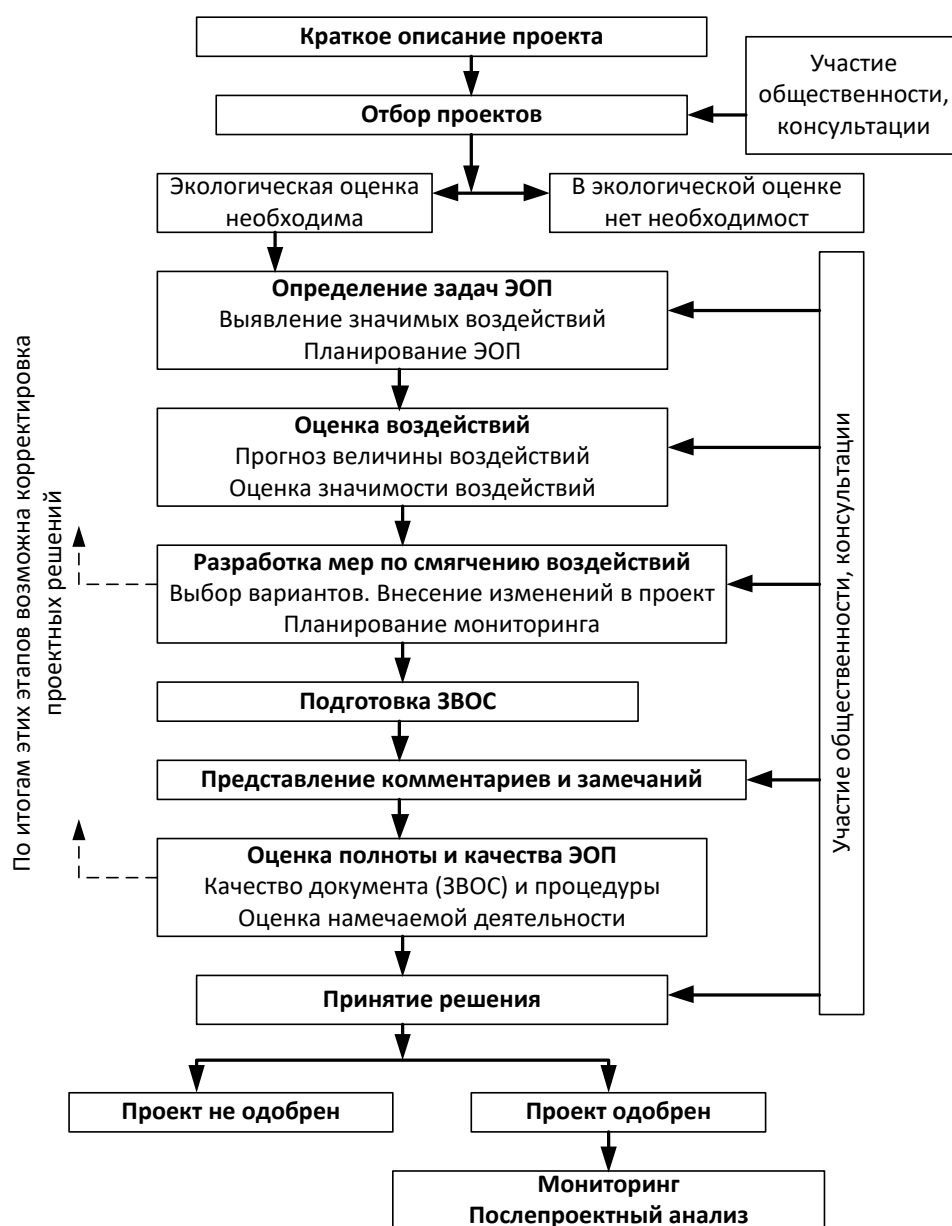


Рисунок 5.23 – Схема экологической оценки проектных решений

Пример расчета граничных точек санитарно-защитной зоны пылевого загрязнения представлены на рисунке 5.24 [44, 46, 51].

Данные по граничным контрольным точкам воздействия пылевого загрязнения в определенный период времени возможно коррелировать с показателями концентрации на графике показателей пылевых выбросов объекта строительства, разработанном в п. 5.6.

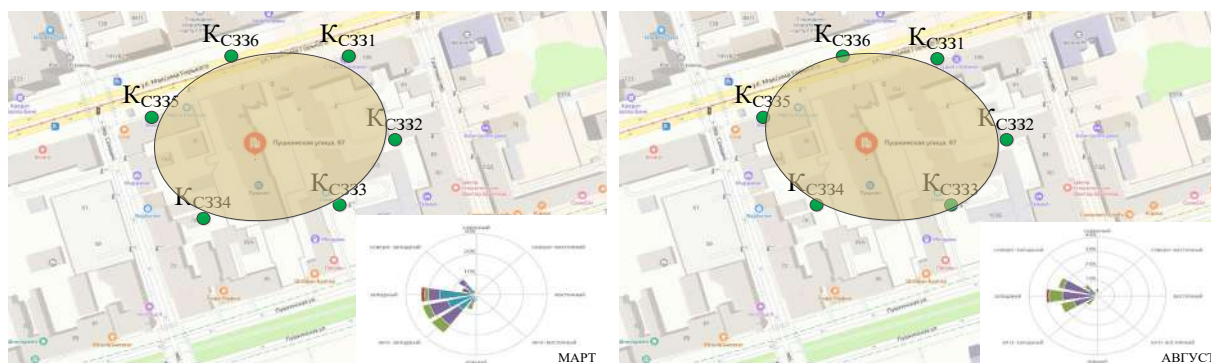


Рисунок 5.24 – Расчет граничных точек санитарно-защитной зоны пылевого загрязнения

В процессе выбора путей проработки проектных решений по реализации предполагаемых инициатив, включая возможность отказа от них, ключевую роль должно играть государственное регулирование. Выбор включения в раздел ПМООС разработанных инструментов расчета воздействия пылевых выбросов в проектные решения возведения объектов точечной застройки должно зависеть от учреждения, где проект будет проходить экспертизу.

5.8 Выводы по главе 5

1. Разработан подход к объяснению оптимального местоположения строительства в условиях плотной городской застройки на предпроектной стадии реализации инвестиционно-строительного проекта. Предложенная модель дает возможность оценить, какие действия, предусмотренные в проекте, наиболее

эффективно помогут уменьшить расходы, связанные с минимизацией негативного воздействия на окружающую среду, облегчается также задача определения наиболее подходящего места для новых объектов точечной застройки среди уже застроенных районов, с учетом экологических и экономических критериев.

2. Предлагается внедрить алгоритмы машинного обучения в процесс мониторинга и прогнозирования загрязнения воздуха от строительных площадок, особенно сосредоточив внимание на мелкодисперсной пыли PM_{2,5}, что требует на практике подтвердить возможность и точность их применения. Проведено тестирование 7 алгоритмов машинного обучения ARIMA, EMA, Prophet, моделей нейронных сетей NARX и NNAR, Random forest, SVM и XGBoost. Ручные измерения подтвердили точность спрогнозированных концентраций алгоритмами машинного обучения. Результаты моделирования показали, что в сравнении с одномерными и многомерными подходами, модели XGBoost и RF демонстрируют лучшие результаты прогнозирования, превосходя модель ARIMA. Однако, в контексте многомерных моделей, алгоритм XGBoost в показателях MAE, MASE и RMSE оказались наименее удовлетворительными, достигая значений 1,69, 0,77 и 2,3809 соответственно. Это свидетельствует о важности включения в моделирование таких переменных, как температура, временные параметры и влажность.

3. Выполнен долгосрочный экологический мониторинг по анализу и определению воздействия пылевого загрязнения от строительного производства г. Ростова-на-Дону. Результаты многоэтапного мониторинга позволили сформировать схему запыленности городской территории от точечного строительстве благодаря применению ГИС системы ArcGIS Online, определить наиболее «чистые» и «грязные» районы и степень воздействия пылевого загрязнения на заболеваемость населения – 26 %.

4. Разработана система рейтингового управления эколого-экологическими рисками на строительной площадке, позволяющая оценить риск, возникшего экологического инцидента и степень опасности его воздействия на городскую территорию и здоровье населения от точечной застройки.

5. Разработан научно-практический метод сетевого и календарного планирования организации работ на строительной площадке впервые для подсчета суммарного объема пыли в разные периоды времени выполнения ремонтно-строительных работ, позволяющий как на этапе проектирование, так и при реализации строительства объекта точечной застройки в любой период времени определять значения концентрации пылевых выброс на строительной площадке.

6. Разработаны мероприятия по совершенствованию проектных решений в части ПМООС и ПОС с учётом экологической безопасности при точечном строительстве, в частности методика оценки экологичности инвестиционно-строительного проекта.

7. Разработана методика расчета санитарно-защитной зоны для строительных площадок точечной застройки и реконструкции зданий и сооружений для внедрения в разработку проектно-сметную документацию.

8. Инструментами, дополняющими экологическую оценку пылевого загрязнения городской территории в проектных решениях, должны быть:

- разработка градостроительного плана территории с расчетом площади озеленения прилегающей территории жилой зоны к строительной площадке с учетом площади озеленения, применяемом на зеленых крышах и прочих конструктивных решениях, например на стилобате в плотной городской застройке,
- проектирование санитарно-защитной зоны с определением границ минимального воздействия влияния точечной застройки на объекты и население, проживающее в зоне ее влияния.

ГЛАВА 6 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1 Разработка принципов мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне и на границе строительной площадки

Разработка концепции мониторинга качества атмосферного воздуха в жилых зонах и на границе строительной площадке производства работ точечной застройки является ключевым элементом в формировании экологически безопасных условий проживания людей на близлежащих территориях. Исследования, направленные на анализ технологических процессов как источников пылевыведения, изучение аэродинамических характеристик, дисперсного состава пыли и обоснование взаимосвязи между параметрами пыли на стройплощадке и в жилой зоне позволили усовершенствовать систему мониторинга качества воздушной среды в жилых районах рядом с объектом точечной застройки. Важно отметить, что мониторинг должен включать не только контроль общей концентрации пыли, но и концентраций частиц PM_{2,5} и PM₁₀.

Для мониторинга пылевого загрязнения городских территорий автором разработан слой в геоинформационной системе который с помощью программы ArcGIS Online позволяет провести оценку текущего состояния общей запыленности и концентрации PM_{2,5} и PM₁₀, вероятность превышения ПДК, длительность превышения ПДК в воздушной среде на территории близлежащей, до 100-200 м, к стройплощадке (п. 5.6). Этот прогноз делается на основе сетевого графика производства работ, величин пылевыведений при конкретных технологических операциях (п. 2.1), валового и максимально разового выбросов в атмосферу выделяющихся в данный момент (п. 2.2), расчета концентрации пыли в т.ч. мелкодисперсной на строительной площадке (п. 2.2), расположение точек контроля в жилой зоне вблизи стройплощадки (п. 5.7) и учета климатических

параметров воздушной среды (температура, влажность и особенно скорость и направление ветра) с использованием ансамблевых моделей из алгоритмов ARIMA, EMA, Prophet, NN, Random forest, SVM, XGBoost, которые доказали точность прогнозирования концентрации пыли на практике в жилой зоне точечной застройки [59].

Такой подход должен быть реализован в проектно-сметной документации, в частности ОВОС и ПМООС при оценке возможности проведения тех или иных строительных работ с учетом, например, направления и скорости ветра [120]. Примеры элементов концепции мониторинга и с учетом разработанных автором алгоритмов прогнозирования пылевого загрязнения представлен на рисунках 6.1-6.7.

Этап 1, 2. Определение зоны влияния точечной застройки. Оценка пылевого загрязнения воздушной среды территории до начала строительства.

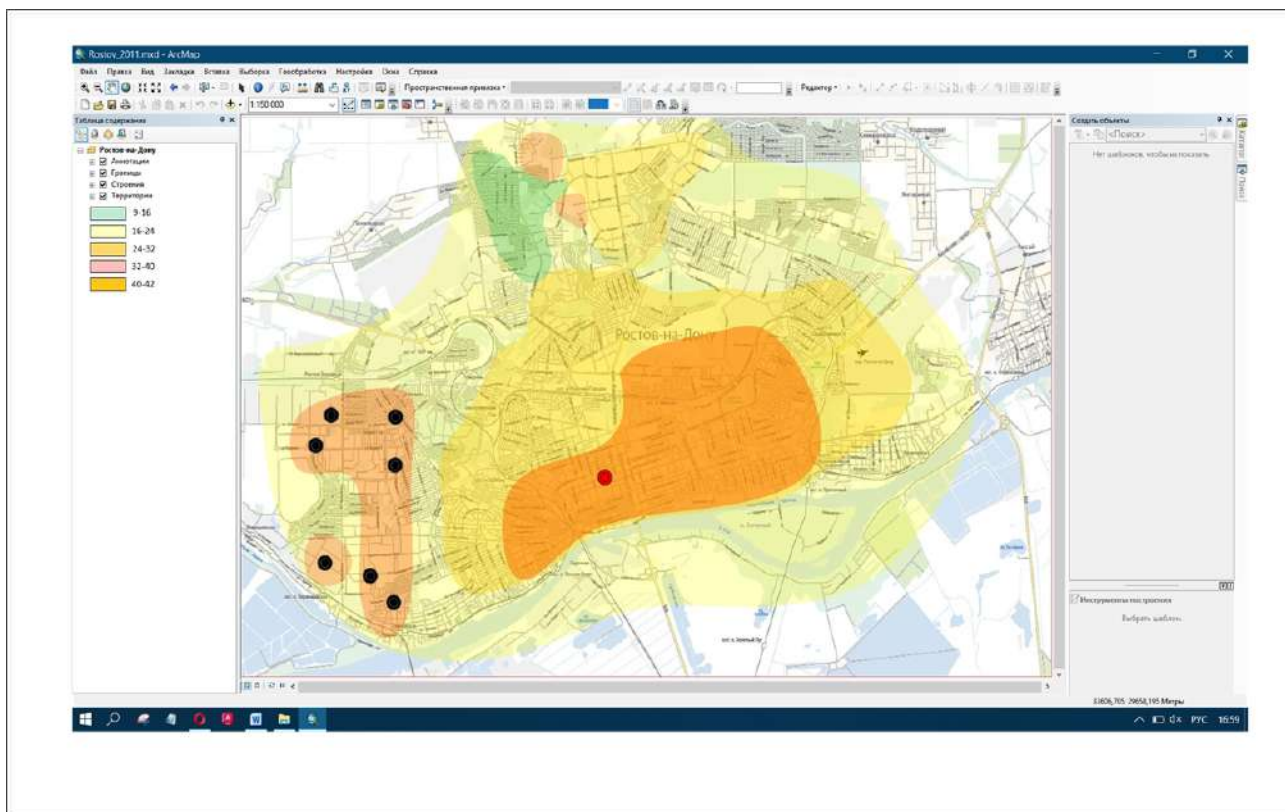
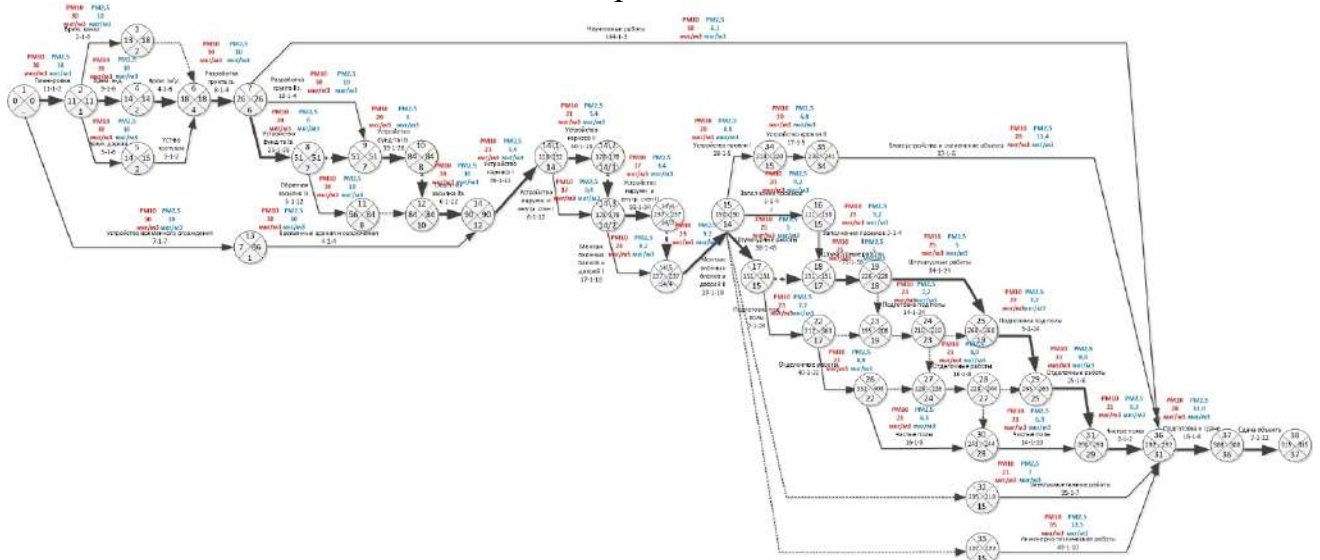


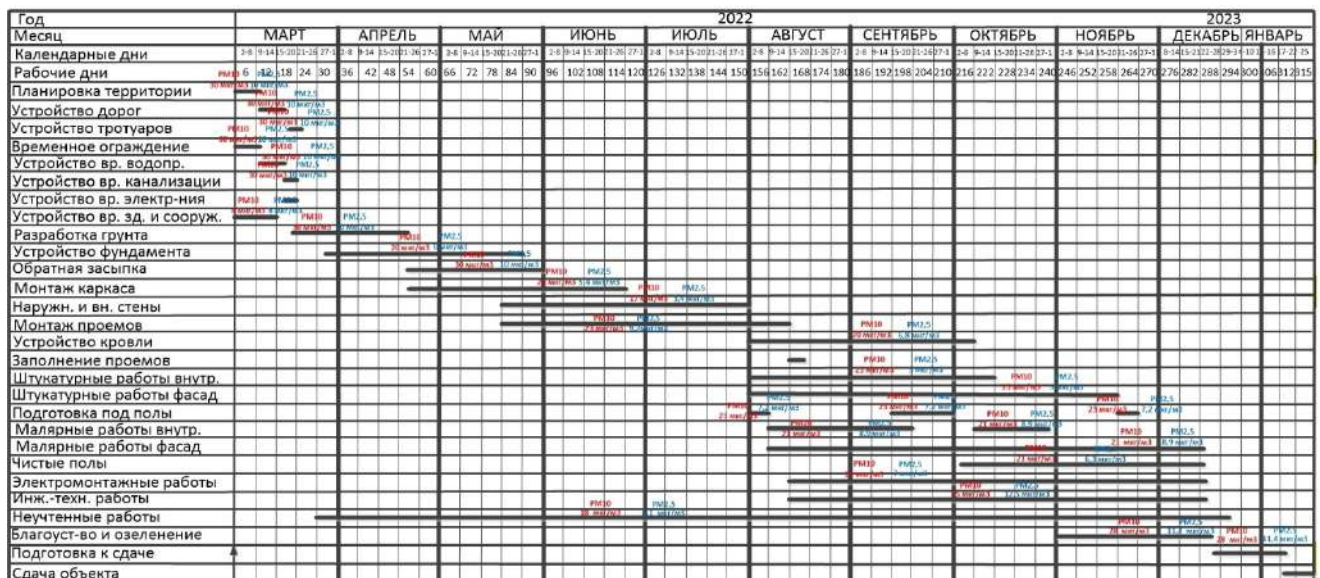
Рисунок 6.1 – Пример элементов концепции мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне. Этап 1, 2. Определение зоны влияния точечной застройки. Оценка пылевого загрязнения территории до начала строительства

Этап 3. Анализ технологических процессов как источников пылевых выбросов



а.

Этап 4. Разработка графика концентрации частиц PM_{2,5} и PM₁₀ на строительной площадке



б.

Рисунок 6.2 – Примеры элементов концепции мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне: а – сетевой график пылевых выбросов за весь период строительных работ; б – график концентрации на строительной площадке в т.ч. PM_{2,5} (синий) и PM₁₀ (красный) в мкг/м³

Этап 5. Выбор точек прогнозирования при различных направлениях ветра

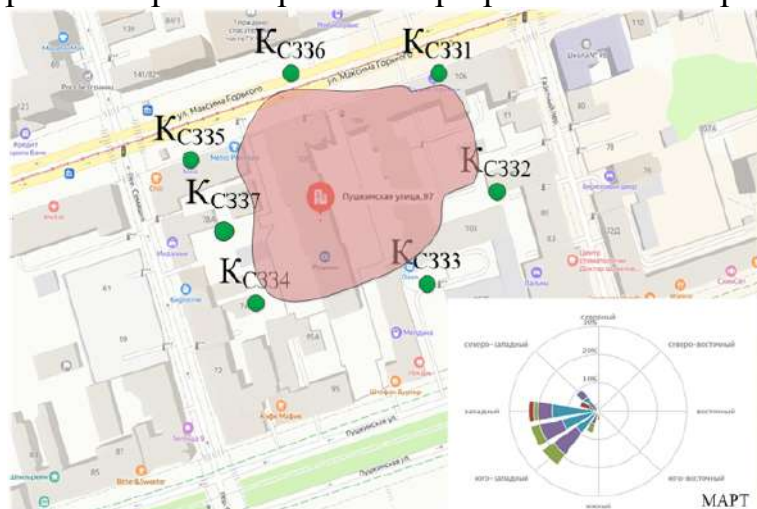


Рисунок 6.3 – Пример выбора контрольных точек замеров при мониторинге качества воздушной среды при земляных работах при преобладающем направлении ветра согласно розе ветров: выбираются Кс334, Кс335, Кс337

Этап 6. Анализ концентрации частиц $PM_{2,5}$ в жилой зоне при земляных работах при заданных климатических условиях в контрольной точке Кс337 при северо-восточном, восточном ветре в светлое время суток

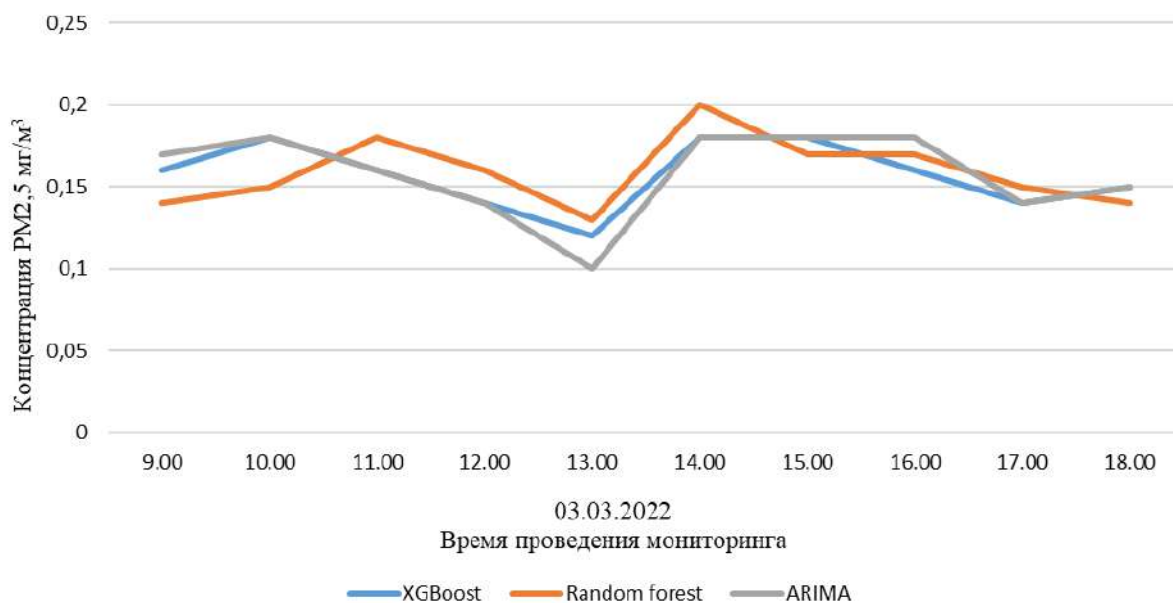


Рисунок 6.4 – Результаты расчета концентрации частиц $PM_{2,5}$ в воздухе жилой зоны при производстве земляных работ в светлое время суток с использованием ансамблевых моделей XGBoost, Random forest, ARIMA.

Среднее значение прогноза ансамблевыми моделями XGBoost, Random forest, ARIMA определяет, что 70% времени возможно превышение норматива (ПДК_{м.р} $PM_{2,5}$ – 0,16 mg/m^3). Необходимо внедрение технических решений.

Параллельно расчетам по алгоритму автора с использованием ансамблевых моделей проведены натурные исследования (рисунок 6.5) концентрацию пыли на строительной площадке до внедрения технических решений.

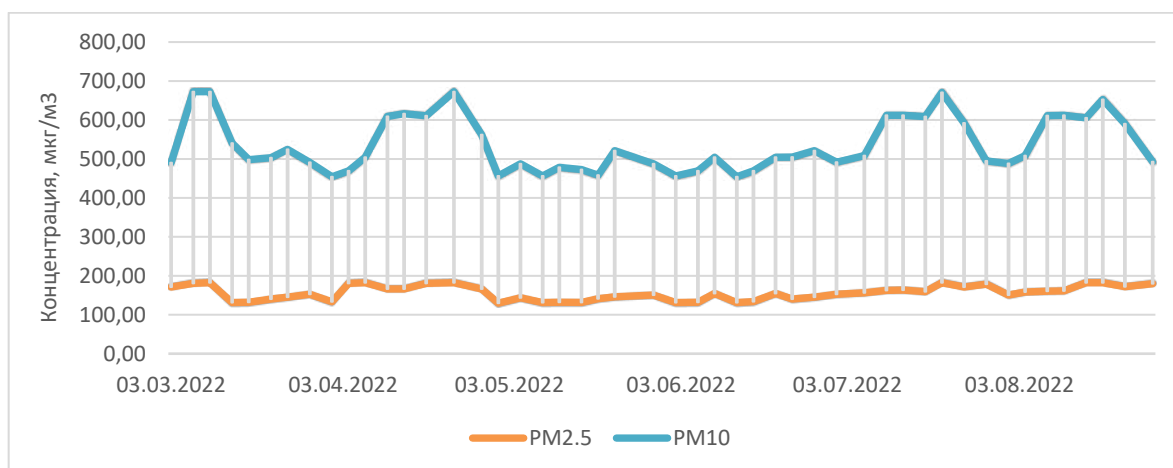


Рисунок 6.5 – Результаты измерения концентрации мелкодисперсной пыли в воздушной среде жилой зоны в период земляных работ

Замеры показали высокую сходимость с результатами расчета и подтвердили необходимость использования технических решений, так как значения концентрации PM10 превышало значение ПДК (ПДК м.р PM10-0,3 мг/м³) в 1,5-2,3 раза.

Этап 7. Проектирование разработанных технических решений на основании результатов прогноза

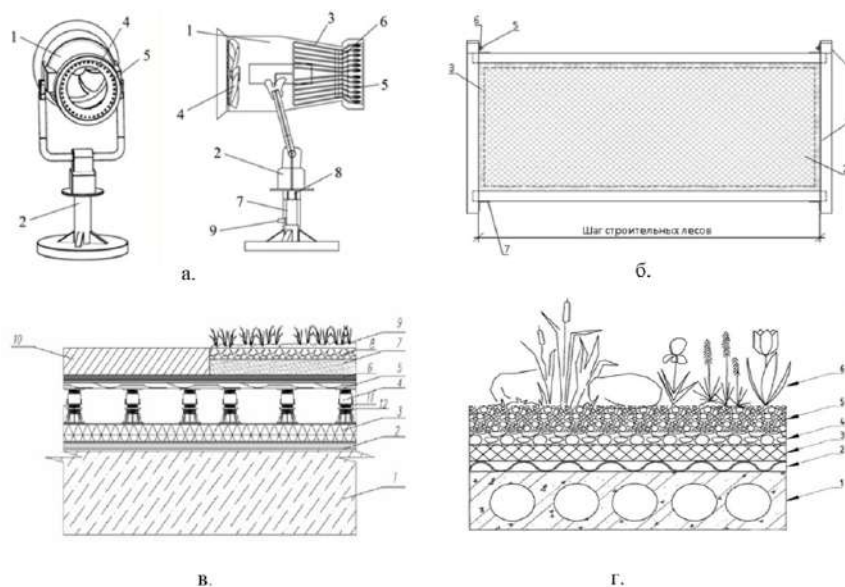


Рисунок 6.6 – Примеры технических решений для снижения концентрации пыли в воздухе жилой зоны: а – пушка пылеулавливания; б – пылезащитный экран; в – конструкция зеленой крыши для общественных зданий; г– конструкция зеленой крыши для жилых зданий

Этап 8. Результаты измерения концентрации мелкодисперсной пыли в жилой зоне
на всех этапах строительства

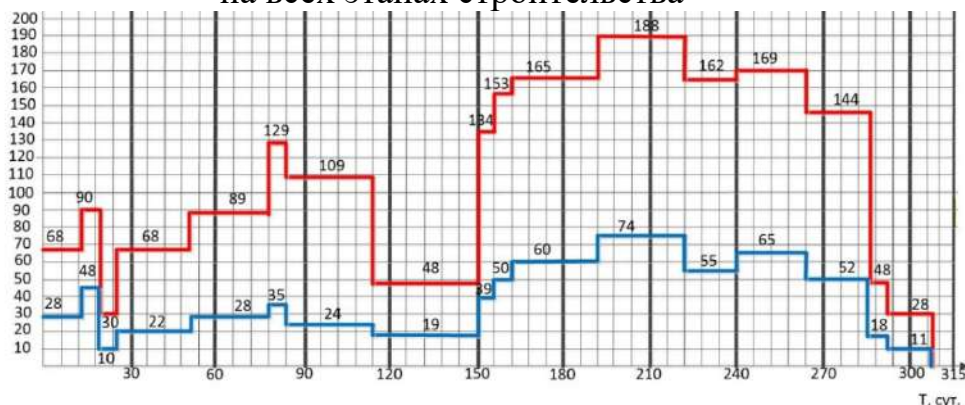


Рисунок 6.7 – Результаты измерения концентрации PM2,5 и PM10 на всех этапах строительства при применении технических решений: значения концентрации PM10 (мкг/м³) – 188 красная линия; значения концентрации PM2,5 (мкг/м³) – 74 синяя линия

Проведенные измерения подтвердили эффективность использованных технических решений.

Примером удачного внедрения разработанной автором системы прогнозирования и организации мониторинга является строительство комплекса ядерной установки в г. Димитровграде, Ульяновской области запроектированного ОА-институт «Ростовский Промстройиниипроект», рисунок 6.8. Акт внедрения в ПРИЛОЖЕНИЕ В.



Рисунок 6.8 – Строительство комплекса ядерной установки в г. Димитровграде с применением программы прогнозирования и организации мониторинга

Предприятию была выдана сетевая модель расчета пылевыведений и график распределения концентраций на строительной площадке, опасные направления ветра, варианты технических решений на разных этапах строительства, варианты контроля точек мониторинга с подветренной стороны от места пыления вблизи

строительной площадки. Предприятие «АКСстрой» (ИП Акопян В.Ф.) внедрило методику разработки сетевого графика пылевых выбросов в процесс разработки рабочей документации на строительство объектов, акт внедрения в ПРИЛОЖЕНИИ В.

6.2 Схемы реализации технических решений по снижению пылевого загрязнения воздушной среды при точечной застройке

Как отмечалось выше одним из элементов концепции мониторинга качества воздушной среды пылевого загрязнения в жилой зоне является внедрение технических решений для достижения предельно допустимых концентраций. В качестве примера приведем схему применения пылезащитного экрана, рисунок 6.9, которую предлагается вносить в проект организации строительства. Для разработанной конструкции получен патент на полезную модель №192629, ПРИЛОЖЕНИЕ Б [84, 111].

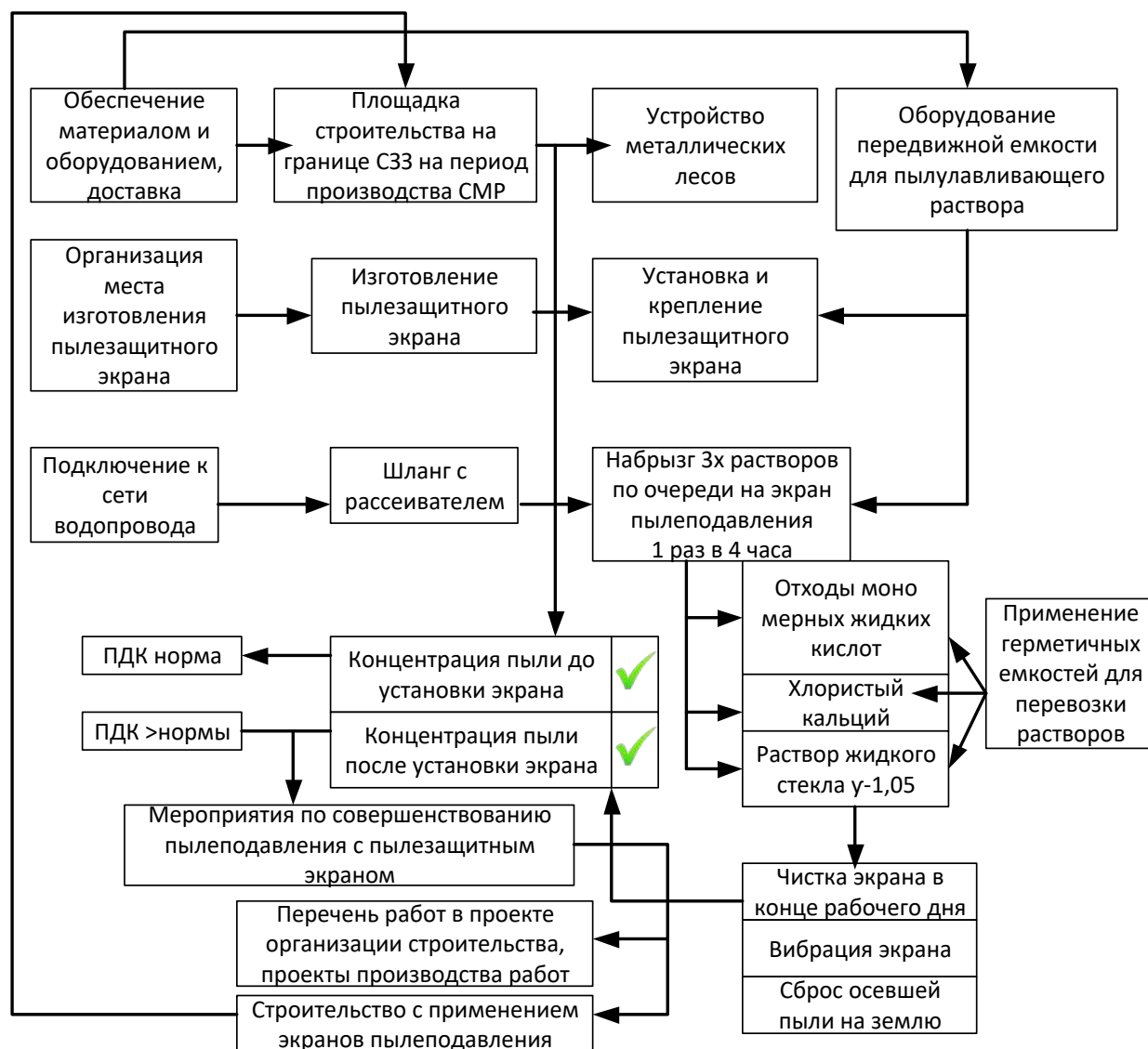


Рисунок 6.9 – Схема установки и функционирования пылезащитного экрана

Аналогичные схемы составлены для таких важных технических решений, как зеленые крыши и пушки пылеподавления (туманообразования). Алгоритм общих технических решений в проекте организации строительства (ПОС) и соответственно в проекте производства работ (ППР) по снижению пылевого загрязнения атмосферы при точечном строительстве представлен на рисунке 6.10.

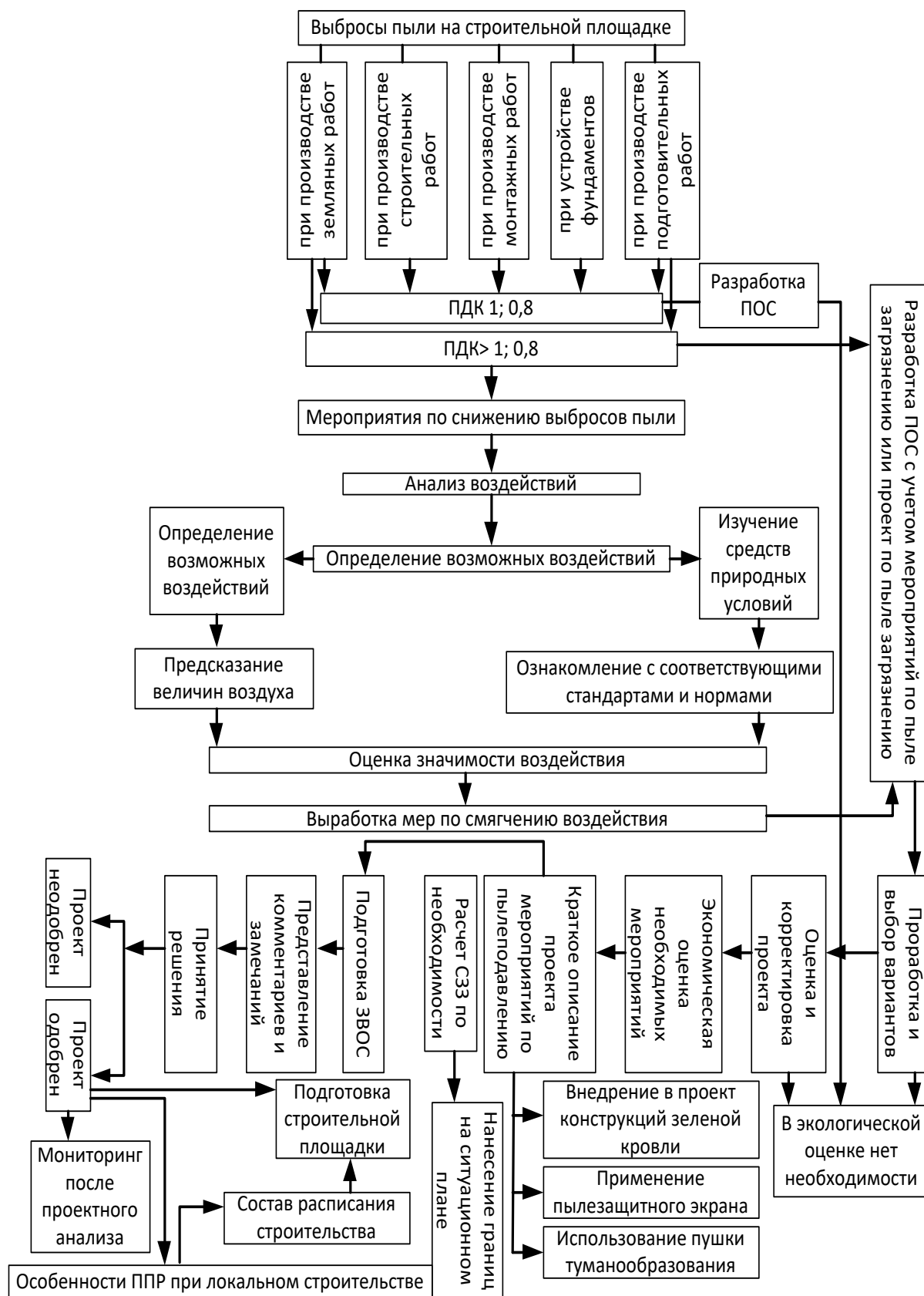


Рисунок 6.10 – Схема реализации технических решений (ПОС и ППР) по снижению пылевого загрязнения воздушной среды при точечной застройке

6.3 Разработка паспорта пыли, образующейся при строительстве

Правильный выбор типа пылеуловителей, их расчет, проектирование защитных мероприятий на строительной площадке от пылевого загрязнения невозможны без сведений о физико-химических свойствах пыли. Разработана методика создания паспортов пыли строительного производства территории, где располагается строительная площадка.

Автором была проведена подготовительная работа по уточнению перечня исследуемых параметров, изучению существующих методов их определения, анализ пылящих строительных процессов, методу отбора проб и для решения задач пылеулавливания.

Результатом работы стала разработка перечня видов пыли, образующейся при производстве строительных процессов с описанием физико-химических свойств. Исследование, ориентированное на выявление строительных процессов, производящих наибольшее количество пыли, было детально изложено в п. 2.1. В качестве обобщения результатов, был создан типовый паспорт, включающий в себя анализ дисперсного состава пыли PM_{0,5}- PM₁₀. Разработанный паспорт включает краткое описание методик определения физико-химических свойств пыли от различных видов строительных работ и следующие характеристики пыли: удельную поверхность $S_{уд}$ (см²/г), плотность ρ (кг/м³), насыпную плотность (неуплотненное состояние $\rho_{н/у}$ (кг/м³) и максимальное уплотнение $\rho_{м/у}$ (кг/м³)), динамический угол естественного откоса $\alpha_{дин}$ (град), слипаемость σ (Па), коэффициента абразивности $k_{аб}$, удельное электрическое сопротивление пыли $УЭС$ (Ом*м), гигроскопичность (равновесная влажность пыли $\varphi_{п}$ (%) при относительной влажности воздуха $\varphi_{в}$ (%)), смачиваемость пыли Wet (%). Подробный метод анализа характеристик представлен в работе [37].

Примеры подготовленных автором паспортов пыли представлены на рисунках 6.11 и 6.12. Методика разработки паспортов строительной пыли внедрена научно-техническим советом ООО «ИБТ» в разработку проектно-технической

документации на строительство и реконструкцию наземных стационарных комплексов метрополитена в г. Москва, акт внедрения в ПРИЛОЖЕНИИ В.

ПАСПОРТ №2. ДОЛОМИТОВАЯ МУКА						
Известняковый материал – доломитовая мука. Проба отобрана на процессе чистовой отделки работ стен помещений: $t=20^{\circ}\text{C}$, $C=69\text{ мг/м}^3$, $V=0.75\text{ см/сек}$, $W=50-60\%$.						
МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ						
Частицы выглядят серовато-белыми в свете, от 3 до 40 мкм неправильной формы. Большинство пыли состоит из частиц размером до 25 мкм, которые имеют бледно-бежевый оттенок.						
ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
$d, \text{мкм}$	0.5	1	2.5	5	10	
$g, \text{масс. \%}$	73	82	80	83	96	
$V, \text{см/сек}$	0.045	0.14	0.3	0.6	0.75	
$d_{50}=12\text{ мкм}$, $\delta=2.45$, $S_{yL}=3345\text{ см}^2/\text{г}$.						
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ						
$\rho=2564\text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.у.}=870\text{ кг/м}^3$	$\rho_{м.у.}=1060\text{ кг/м}^3$	$k_{AB}=3.2 \times 10^{-11}$			
$\alpha_{лин}=35^{\circ}$	$\alpha_{ст}=50^{\circ}$	$\sigma=34\text{ Па}$	$W_{et}=98\%$			
УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ						
$УЭС, \text{Ом}\times\text{м}$	1.7×10^{10}	5.7×10^{10}	4.6×10^{10}	3.9×10^{10}	2×10^{10}	$\max УЭС$ 6.3×10^{10}
$t, ^{\circ}\text{C}$	50	100	150	200	250	101
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
Компонент	CaO		MgO		CO ₂	
B, масс. %	30.4		21.4		48.2	
pH=10						
РАВНОВЕСТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПЫЛИ $\varphi_{п}$ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА $\varphi_{в}$						
$\varphi_{п}, \%$	0.86	1.05	1.1	1.4	1.8	
$\varphi_{в}, \%$	20	40	60	80	95	

Рисунок 6.11 – Паспорт на пыль от материала доломитовая мука

ПАСПОРТ №3. СЛАНЦЕВАЯ ЗОЛА						
Известняковый материал – сланцевая зола. Проба отобрана на процессе монолитных работ каркаса : $t=20^{\circ}\text{C}$, $C=48\text{ мг/м}^3$, $V=0.72\text{ см/сек}$, $W=50\text{-}60\%$.						
МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ						
Серовато-белые частицы, окрашенные в серый цвет, имеют неправильную форму и размер до 40 мкм. В свете большинство частиц, до 25 мкм, также обладают серовато-белым оттенком. Общая масса пыли характеризуется серым цветом.						
ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
$d, \text{мкм}$	0.5	1	2.5	5	10	
$g, \text{масс. \%}$	78	80	83	86	96	
$V, \text{см/сек}$	0.045	0.14	0.3	0.6	0.75	
$d_{50}=12\text{ мкм}$, $\delta=2.45$, $S_{yL}=3345\text{ см}^2/\text{г}$.						
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ						
$\rho=2580\text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.у.}=872\text{ кг/м}^3$	$\rho_{м.у.}=1063\text{ кг/м}^3$	$k_{AB}=3.3\times10^{-11}$			
$\alpha_{лин}=35^0$	$\alpha_{ст}=50^0$	$\sigma=34\text{Па}$	$Wet=98\%$			
УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ						
$УЭС, \text{Ом}\times\text{м}$	1.5×10^{10}	6×10^{10}	4.3×10^{10}	3.8×10^{10}	2.2×10^{10}	$\max УЭС$ 6.1×10^{10}
$t, ^{\circ}\text{C}$	50	100	150	200	250	114
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
Компонент	CaO	MgO	SiO ₂	SO ₂		
$B, \text{масс. \%}$	42.1	4.2	26.2	27.5		
$pH=10$						
РАВНОВЕСТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПЫЛИ $\varphi_{п}$ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА $\varphi_{в}$						
$\varphi_{п}, \%$	0.85	1.07	1.2	1.45	1.9	
$\varphi_{в}, \%$	20	40	60	80	95	

Рисунок 6.12 – Паспорт на пыль от материала – сланцевая зола

6.4 Результаты испытаний разработанных автором технических средств для снижения пылевого загрязнения при точечном строительстве

Испытания опытно-промышленной установки пушки пылеподавления ПП 2020 согласно разработанной полезной модели, патент на полезную модель №197551, ПРИЛОЖЕНИЕ Б, были произведены в сентябре 2024 года при реконструкции производственного корпуса Литер «В» ООО "КЗ "Ростсельмаш" в г. Ростове-на-Дону компанией ООО «Альфа Инжиниринг» при производстве работ по устройству систем водоснабжения, водоотведения, отопления и вентиляции, представленном на рисунке 6.13.



Рисунок 6.13 – Реконструкция производственного корпуса в г. Ростове-на-Дону

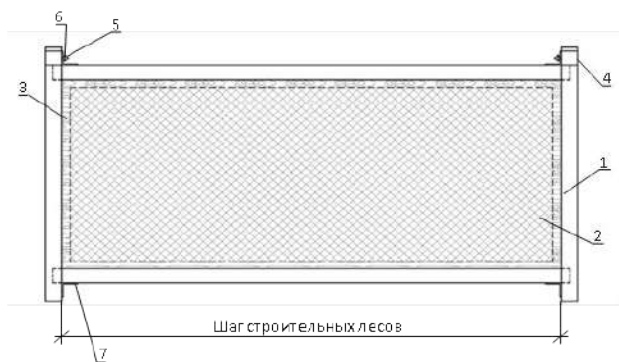
Испытания проводились в течение рабочей смены (8 часов). Средняя скорость воздушного потока от источника максимального выброса пыли при производстве работ систем водоснабжения и теплоснабжения составляла $0,6 \pm 0,1$ м/с. Начальная концентрация пыли составляла $0,13$ мг/м³. После воздействия струи пушки – $0,06$ мг/м³, что подтверждено актом испытаний промышленной установки от компании ООО «Альфа Инжиниринг» в ПРИЛОЖЕНИИ В. Таким образом пушка пылеподавления обеспечила снижение концентрации пыли на 60%.

В октябре 2022г в г. Кострома организацией АО «РЖДстрой», проводились эксперименты по определению эффективности пушки пылеподавления (патент № 197551) в рамках реконструкции привокзальной зоны при обработке газоблока. Эксперименты включали тестирование установки пушки как в закрытых

помещениях, так и на открытом воздухе. Для измерения концентрации пыли использовались портативный счетчик частиц Lighthouse Handheld 3016 и стандартное оборудование для сбора пыли. В процессе исследования максимальная подвижность воздуха в помещении составляла 0,75-1,4 м/с, а при измерениях резки газоблоков на открытом воздухе – 2,1-3,2 м/с. В каждой серии было проведено 3 серии по 15 замеров. Основная задача заключалась в оценке влияния влажности воздуха на концентрацию пыли при резке газоблока и создании условий для достижения ПДК – 0,5 мг/м³.

Проведенное испытание опытно-промышленной установки по созданию тумана показало, что снижение концентрации пыли достигало 60%, что подтверждено актом испытаний от организации АО «РЖДстрой» в ПРИЛОЖЕНИИ В.

В июне 2022 г произведены испытания АО «РЖДстрой» опытно-промышленной установки пылезащитного экрана согласно разработанной автором полезной модели, патент на полезную модель №192629, рисунок 6.14. Место испытаний – г. Иваново, Ивановская область при реконструкции здания вокзала, представленного на рисунке 6.15



Устройство пылезащитного экрана:

- 1 – деревянная станина,
- 2 – рогожка,
- 3 – штапики,
- 4 – хомуты,
- 5 – болтовые соединения,
- 6 – гайка,
- 7 – уголки.

Рисунок 6.14 – Устройство пылезащитного экрана

Испытания дали следующие результаты: средняя скорость движения воздушного потока была через экран – 0,06±0,1 м/с. Концентрация пыли до экрана 0,09 ±2 мг/м³, после экрана 0,07± 0,15 мг/м³. Концентрация пыли на расстоянии 10 м от экрана 0,04 ± 0,1 мг/м³. Подтверждено актом испытаний от АО «РЖДстрой» в ПРИЛОЖЕНИИ В.



Рисунок 6.15 – Реконструкция здание вокзала в г. Иваново

Для решения задач по снижению пылевого загрязнения в зоне точечной застройки автором разработаны два вида конструкций для монтажа «зеленой крыши» (патент на полезную модель №163334 и патент на полезную модель №191863), ПРИЛОЖЕНИЕ Б [106, 107]. Обе конструкции адаптированы для применения как на зданиях общественного назначения, так и на частных жилых постройках вблизи строительных площадок. Особенность первого вида конструкции «зеленой крыши» (пат. на п. м. №191863) является возможность ее демонтажа в осенне-зимний период. Данный вид конструктивного решения предназначено для использования в общественных зданиях, рисунок 6.16.



Рисунок 6.16 – Конструкция зелёной крыши для общественных зданий

В апреле 2021 г для проведения работ по реконструкции здания привокзального комплекса в г. Арзамас, Нижегородская область организацией АО «РЖДстрой» были выполнены работы по монтажу конструкции данного вида «зеленой крыши» с целью снижения в первую очередь пылевого загрязнения при

производстве работ в черте города. После завершения строительных работ конструкция зеленой крыши была введена в эксплуатацию вместе с зданием, акт внедрения получен, ПРИЛОЖЕНИЕ В. До монтажа конструкции и высадки растительности (см. п. 4.3) концентрация пыли территории, прилегающей к строительной площадке, составляла – $0,28 \text{ мг/м}^3$, замеры концентрации пыли через неделю активных строительных работ показали $0,05 \text{ мг/м}^3$.

При монтаже разработанных конструкций на других объектах (здания, где проводились работы по реконструкции или здания находились вблизи строительных площадок) снижение концентрации пылевого загрязнения в данной зоне достигало 10-45% в зависимости от региона, где выполнялись строительные работы.

Эффективность внедрения данных конструкций обусловлена не только получением положительной динамики снижения пылевой нагрузки в зоне точечной застройки, но и обусловлена экономической выгодой при монтаже. Монтаж данных конструкций возможен для организации зимних садов или экологически чистых террас, и всё это при сохранении низких затрат на материалы. Внедрение в практику строительства новых объектов и реконструкцию существующих зданий с устройством, например, на стилобатах, крышах, террасах предлагаемых конструкций «зеленой крыши» в целом создают в городской среде экологический барьер, препятствующий распространению пыли на территорию городской застройки. В таблице 6.1 представлена информация о стоимости установки конструкций для двух разработанных вариантов, что позволяет оценить эффективность при реализации проектов с применением зелёной крыши [78].

Таблица 6.1 – Стоимость установки системы экологической зеленой крыши за квадратный метр в соответствии с предложенными опциями

Вариант 1. Конструкция зеленой крыши для общественных зданий.		Вариант 2. Конструкция зеленой крыши для жилых зданий.	
Перечень работ	Цена, руб	Перечень работ	Цена, руб
Герметизация швов цементом	150	Герметизация швов цементом	150
Устройство 1-го слоя гидроизоляции из еврорубероида и битума	380	Устройство 1-го слоя гидроизоляции из еврорубероида и битума	380

Продолжение таблицы 6.1

Применение материала ISOVER 3	140	Установка верхнего покрытия, материал ондулин	200
Монтаж основания	1200	Использование пеноплекса	140
Монтаж верхнего покрытия из ондулина	200		
Устройство гидроизоляции с применением жидкой резины Hydra.	750	Устройство растительного слоя.	150
Монтаж дренажного материала Enkadrain Premium	200	Высадка растительности и обработка почвы.	400
Высадка растительности и обработка почвы.	190		
Монтаж террасной доски.	1000		
Итого		Итого	1420
- монтаж с озеленением:	3210		
- монтаж с озеленением и с покрытием террасной доской	4210		

Выбор подходящего ассортимента растений для высадки на зеленой крыше в целях снижения пылевого загрязнения в зоне влияния точечной застройки обусловлен максимальной длительностью их вегетационного периода в конкретных климатических условиях. Оптимальный ассортимент растений, способствующий снижению пылевых выбросов на примере южных регионов Российской Федерации представлен в п. 4.3

Для оценки эффективности внедряемых организационно-технологических решений выполнен расчет социально-экономического предотвращенного вреда за счет сокращения пылевых выбросов от строительного производства, стоимость которого подрядная организация должна оплатить. Расчет произведен согласно Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды по формуле

$$V_{\text{ОНМУ}} = \sum_{i=1}^n (H_i \times M_i \times K_{\text{ИН}} \times K_{\text{ОХР}}), \quad (6.1)$$

где $V_{\text{ОНМУ}}$ – размер вреда, причиненный атмосферному воздуху как компоненту природной среды, руб./год; M_i – масса выброса i -ого загрязняющего вещества в атмосферный воздух, тонн; H_i – такса для исчисления размера вреда при выбросе i -ого загрязняющего вещества в атмосферный воздух, в руб. за тонну; $K_{\text{ИН}}$ – коэффициент, учитывающий фактическое изменение потребительских цен на товары и услуги в Российской Федерации; $K_{\text{ОХР}}$ – коэффициент особой охраны; n –

количество загрязняющих веществ; i – загрязняющее вещество, по которому исчисляется размер вреда [72, 100].

Например, при строительстве 14-этажного жилого дома в г. Ростове-на-Дону для организации ООО «Р-Строй» в соответствии с сетевой моделью пылевого загрязнения при точечной застройке, ПРИЛОЖЕНИЕ А, PM_{10} – 1,36 т, $PM_{2,5}$ – 0,68 т, расчет размера предотвращенного вреда (формула 6.1) составил – 1411,47 тыс. рублей /год.

6.5 Выводы по главе 6

1. Предложена концепция организации мониторинга качества воздушной среды в жилой зоне, находящейся в зоне точечной застройки.

2. Разработаны схемы реализации технических решений по снижению пылевой загрязнённости на строительных площадках и в жилых зонах.

3. Разработана методика разработки паспортов пыли, выделяющейся в атмосферный воздух при различных видах строительных работ при точечной застройке, позволяющие оптимизировать выбор типа пылеуловителя и обоснования защитных мероприятий.

4. Полученные автором результаты апробированы в производственных условиях. Результаты диссертационного исследования внедрены в ОАО РЖД СТРОЙ г. Москва, ОА-институт «Ростовский Промстройниипроект» г. Ростов-на-Дону, ООО «ИБТ» г. Москва, ООО «Альфа Инжиниринг», г. Ростов-на-Дону, ООО «Р-Строй» г. Ростов-на-Дону, ИП Акопян В.Ф. г. Ростов-на-Дону. Разработанные новые научно-обоснованные технические решения по сокращению выбросов пыли на строительной площадке относятся к современным отечественным разработкам по защите атмосферного воздуха от загрязнения пылью, что дает возможность беспрепятственного процесса их внедрения в практическую деятельность предприятий и организаций.

5. Социально-экономический предотвращенный эффект от предотвращения экологического вреда за счет сокращения выбросов пыли от точечной застройки, на примере строительства 14-этажного жилого дома в г. Ростове-на-Дону составил 1 411 475 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена задача совершенствования системы защиты атмосферного воздуха от загрязнения пылью при точечном строительстве в городской среде и разработаны научные основы и методология формирования системы экологической безопасности при точечной застройке на основе критерия минимизации загрязнения атмосферы пылью. По результатам диссертационного исследования можно сделать **основные выводы**:

1. Анализ предыдущих исследований отечественных и зарубежных ученых, направленный на изучение выбросов пыли при строительстве показал, что в большинстве стран мира строительная отрасль является одним из основных источников загрязнения воздуха городских территорий и агломераций. При этом исследования, посвященные точечной застройке, практически отсутствуют.

2. Проведенный анализ технологических процессов при строительстве позволил классифицировать источники и выделить основные. Проведены экспериментальные исследования максимально разовых выбросов пыли от строительных процессов при точечной застройке. Для технологических процессов характерных для точечного строительства проведены на реальных объектах натурные исследования запыленности воздушной среды на строительной площадке в зоне влияния источников пыления (технологические процессы).

3. Натурные замеры дисперсного состава пыли в воздушной среде близлежащих территорий при точечной застройке (до 200 м) показали, что частицы размером более 10 мкм практически отсутствуют, а для 95% замеров не превышают 10 мкм. Поэтому важно ограничить концентрацию частиц PM₁₀ и PM_{2,5} на строительной площадке. Для пыли, выделяющейся при технологических процессах строительства, определён дисперсный состав пыли в воздухе рабочих зон стройплощадки в том числе исследовано изменение дисперсного состава пыли по высоте. На основании дисперсного состава и прямых измерений получены значения частиц PM_{0,5}- PM₁₀.

4. На основании анализа существующей модели построения интегральных функций распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам показано, что для оценки дисперсного состава PM_{2,5}-PM₁₀ на строительной площадке и в воздухе близлежащей территории лучше всего подходят трехзвенные модели (прямая+парабола+гипербола). Проверка проводилась на основании критерий согласия Пирсона и Колмогорова.

5. Проведенные экспериментальные и натурные исследования позволили получить результаты дисперсного состава пыли для каждого технологического строительного процесса с целью построения дифференциальных функций распределения значений функций прохода при фиксированных диаметрах частиц d_i и рассматривать интегральные функции распределения как случайный процесс. Аналогично как случайный процесс можно рассматривать интегральную концентрацию.

6. Исследование концентрации пыли общей, PM₁₀, PM_{2,5} при применении разработанных автором технических решений: пылезащитный экран, пушка пылеулавливания, конструкций зеленой кровли показали их достаточно высокую эффективность. Кроме того, было показано, что для оценки мероприятий по защите воздушной среды близлежащих территорий следует учитывать взаимосвязь концентраций частиц PM₁₀ и PM_{2,5} в воздухе стройплощадки и близлежащей территории.

7. Разработана ансамблевая модель прогнозирования качества атмосферного воздуха в зависимости от параметров воздушной среды на строительной площадке с использованием алгоритмов машинного обучения XGBoost, Random Forest (RF) и ARIMA.

8. Усовершенствован сетевой график производства работ с учетом дополнительной информации о прогнозировании запыленности в зоне производства технологических строительных операций при точечной застройке, на основании которого сформирован ГИС слой в программе ArcGIS Online для оценки запыленности на стройплощадке.

9. Предложена система индикаторов для экологического риск-анализа влияния частиц PM_{2,5} и PM₁₀, поступающих в воздушную среду городской территории при ведении точечной застройки.

10. На основании проведенных исследований предложены методы учета выбросов пыли, поступающей в атмосферу при ведении точечной застройки, при сводных расчетах.

11. Полученные автором результаты апробированы в производственных условиях. Результаты диссертационного исследования внедрены в ОАО РЖД СТРОЙ г. Москва, ОА-институт «Ростовский Промстройиниипроект» г. Ростов-на-Дону, ООО «ИБТ» г. Москва, ООО «Альфа Инжиниринг», г. Ростов-на-Дону, ООО «Р-Строй» г. Ростов-на-Дону, ИП Акопян В.Ф. г. Ростов-на-Дону. Разработанные новые научно-обоснованные технические решения по сокращению выбросов пыли на строительной площадке относятся к современным отечественным разработкам по защите атмосферного воздуха от загрязнения пылью, что дает возможность беспрепятственного процесса их внедрения в практическую деятельность предприятий и организаций.

12. Социально-экономический предотвращенный эффект от предотвращения экологического вреда за счет сокращения выбросов пыли от строительства – 1 411 475 рублей.

Разработанные в диссертации научные предложения решают научную проблему в несоответствии состояния экологической безопасности и уровня загрязнения атмосферного воздуха городских территорий при точечной застройке и нормативной моделью расчёта, принятой в научной и проектной практике, не отражающей комплексного характера обеспечения экологического благополучия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров, В. Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.01 ; 03.00.16 / Азаров Валерий Николаевич. – Ростов-на-Дону, 2004. – 46 с.
2. Ахмедов, А. М. Исследование дисперсного состава пыли при проведении земляных работ [Текст] / А. М. Ахмедов, Н. С. Бакин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2025. – № 1 (98). – С. 229-235.
3. Бажайкин, А. Л. Нормы-принципы в законодательстве об охране окружающей среды и земельном законодательстве [Текст] / А. Л. Бажайкин // Экологическое право. – 2013. – № 1. – С. 6–10.
4. Белокрылова, Е. А. Проблемы правового обеспечения экологической безопасности нанотехнологий: опыт России и Европейского союза [Текст] / Е. А. Белокрылова // Экологическое право. – 2013. – № 2. – С. 13–20.
5. Беспалов, В. И. Повышение экологической безопасности предприятий стройиндустрии на основе современной технологии пылеподавления [Текст] / В. И. Беспалов, О. С. Гурова // Безопасность техногенных и природных систем. – 2024. – № 3 (8). – С. 19–28.
6. Боброва, В. В. Подавление пылевого загрязнения на строительной площадке в городской застройке [Текст] / В. В. Боброва, С. Е. Манжилевская // Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической : материалы I нац. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 221–223.
7. Боброва, В. В. Сертификация жилых зданий по «зеленым» стандартам [Текст] / В. В. Боброва, С. Е. Манжилевская // Строительство и архитектура – 2023 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 322–323.

8. Булаев, В. Г. Идентификация экологических аспектов с помощью диаграмм Парето и Исикавы [Текст] / В. Г. Булаев, Э. А. Рябухин // Транспорт Урала. – 2015. – № 1 (44). – С. 67–72.

9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 988 с.

10. ГОСТ 3826-82. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 1982. – 13 с.

11. ГОСТ Р 2.105–2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 35 с.

12. ГОСТ Р 21.101–2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 84 с.

13. ГОСТ Р 51901.22–2012. Менеджмент риска. Реестр риска. Правила построения [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.

14. ГОСТ Р 56929-2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 20 с.

15. ГОСТ Р 596–2019. Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими субъектами и методы определения этих нормативов [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с.

16. ГОСТ Р 58967-2020. Ограждения инвентарные строительных площадок и участков производства строительно-монтажных работ. Технические условия [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 16 с.

17. ГОСТ Р 59668-2021. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Методика расчета концентраций взвешенных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ в

промышленных выбросах на основе фракционного состава пыли [Текст]. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 16 с.

18. ГОСТ Р 70230-2022. Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли [Текст]. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 16 с.

19. ГОСТ Р ИСО 14044-2019. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации [Текст]. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 48 с.

20. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/75/ЕС от 24.11.2010 г. о промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) (новая редакция) [Электронный ресурс]. - URL: <https://base.garant.ru/70161770> (дата обращения: 03.10.2025).

21. Дополнительные экологические мероприятия в процессе строительства [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5747> (дата обращения: 03.10.2025).

22. Инновационная практика в городах и Доктрина градостроительства [Текст] / В. А. Ильичев [и др.] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – № 3 (7). – С. 3–16.

23. Исследование дисперсного состава пыли городской среды [Текст] / В. Н. Азаров [и др.] // Вестник МГСУ. – 2020. – № 15. – С. 432–442.

24. Исследование пылевывделений в окружающую атмосферу и в атмосферу рабочей зоны при производстве ремонтно-строительных работ [Текст] / Е. А. Калюжина [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2020. – № 4 (81). – С. 371–378.

25. ИТС22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях [Текст]. – Москва : Бюро НДТ, 2016. – 198 с.

26. К оценке концентрации мелкодисперсных частиц в пылевых загрязнениях воздушной среды, образующихся при проведении ремонтно-строительных работ [Текст] / Д. П. Боровков [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2024. – № 3 (96). – С. 125–132.

27. Калюжина, Е. А. Исследования значений PM10 и PM2,5 в выбросах в атмосферу и рабочую зону при ремонтно-строительных работах [Электронный ресурс] / Е. А. Калюжина, Г. В. Несветаев, В. Н. Азаров // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2020. – № 1. - URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KalyuzhinaNesvetaevAzarov-2012_1\(20\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KalyuzhinaNesvetaevAzarov-2012_1(20).pdf) (дата обращения: 03.10.2025).

28. Колчугин, С. В. Теория органического баланса Фрица Шмидта [Текст] / С. В. Колчугин // Вестник НГУЭУ. – 2015. – № 2. – С. 166–177.

29. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. - URL: <http://kremlin.ru/acts/constitution> (дата обращения: 03.10.2025).

30. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П. А. Коузов. – Ленинград : Химия, 1987. – 264 с.

31. Кузьмичев, А. А. Теоретические и экспериментальные исследования влияния городского атмосферного аэрозоля и параметров воздушной среды на загрязнение зданий и сооружений [Текст]: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.19 / Кузьмичев Андрей Александрович. – Волгоград, 2019. – 20 с.

32. Манжилевская, С. Е. Анализ существующих мероприятий по снижению санитарно-защитной зоны для точечной застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская, Е. А. Рубанова // Строительство и архитектура – 2023 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 251–252.

33. Манжилевская, С. Е. Аэродинамические характеристики мелкодисперсной пыли PM2,5 и PM10 на строительной площадке [Текст] / С. Е. Манжилевская // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы X междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей / Волг. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2023. – С. 220–222.

34. Манжилевская, С. Е. Влияние мелкодисперсной пыли на окружающую среду при локальном строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 6 (92). – С. 86–98.

35. Манжилевская, С. Е. Исследование процессов пылезагрязнения воздушной среды при локальной застройке территорий [Текст] : монография / С. Е. Манжилевская, В. Н. Азаров. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2020. – 160 с.

36. Манжилевская, С. Е. Исследование распространения частиц мелкодисперсной пыли в рабочей зоне строительных процессов [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6221> (дата обращения: 03.10.2025).

37. Манжилевская, С. Е. Методология выбора пылеулавливающего оборудования для защиты атмосферного воздуха от точечной застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская, Д. Р. Маилян // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2025. – № 3 (173). – С. 109-117.

38. Манжилевская, С. Е. Методы и меры измерения экологической безопасности в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 350–351.

39. Манжилевская, С. Е. Моделирование и прогнозирование концентрации PM2.5 на строительной площадке с использованием искусственного интеллекта [Текст] / С. Е. Манжилевская // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2024. – № 1 (3). – С. 104–113.

40. Манжилевская, С. Е. О предотвращении распространения мелкодисперсной пыли на стройплощадке при кладке стен из газобетонных блоков с точки зрения экологической безопасности [Текст] / С. Е. Манжилевская, А. О. Бурлаченко, Н. С. Бакин // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2025. – № 2 (99). – С. 194-201.

41. Манжилевская, С. Е. Обеспечение устойчивости управления строительством в городской застройке с точки зрения экологической

безопасности [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, А. А. Андрийченко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7976> (дата обращения: 03.10.2025).

42. Манжилевская, С. Е. Оптимизация набора краткосрочных природоохранных мероприятий [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 3. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3716> (дата обращения: 03.10.2025).

43. Манжилевская, С. Е. Организационно-технологические и градостроительные мероприятия, направленные на повышение уровня экологической безопасности территории г. Ростова-на-Дону [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко, Д. Н. Альшенко // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 4. - URL: <https://esj.today/PDF/04SAVN419.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

44. Манжилевская, С. Е. Организационно-технологические мероприятия по снижению загрязнения на строительной площадке в целях повышения экологической безопасности [Текст] / С. Е. Манжилевская // Аллея науки. – 2019. – № 8. – С. 361–363.

45. Манжилевская, С. Е. Организационно-технологические решения на строительной площадке, повышающие экологическую безопасность точечной застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительство и архитектура – 2023 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 241–243.

46. Манжилевская, С. Е. Организационно-технологические решения, повышающие уровень экологизации городской застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская, В. В. Боброва // Наука молодых - будущее России : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2022. – С. 12–14.

47. Манжилевская, С. Е. Организационно-экономические проблемы экологической безопасности в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительные материалы и изделия. – 2019. – № 4. – С.73–77.

48. Манжилевская, С. Е. Организация кадрового состава по управлению и защите окружающей среды при строительстве зданий застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительство и архитектура – 2022 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 227–229.

49. Манжилевская, С. Е. Организация ответственных рабочих групп по экологической безопасности на строительной площадке в ходе разработки инвестиционно-строительного проекта [Текст] / С. Е. Манжилевская, Е. О. Еманов // Строительство и архитектура – 2023 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 248–249.

50. Манжилевская, С. Е. Организация работ при строительстве и реконструкции с обеспечением экологической безопасности жизнедеятельности [Текст] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко // Строительство – 2013 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2013. – С. 173–174.

51. Манжилевская, С. Е. Организация санитарно-защитной зоны строительной площадки как мероприятие по экологизации строительной отрасли [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 213–214.

52. Манжилевская, С. Е. Организация строительной площадки с учетом уровня запыленности городской воздушной среды в зоне строительства [Текст] / С. Е. Манжилевская, К. И. Шпудейко // Актуальные проблемы науки и техники 2020 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 1401–1403.

53. Манжилевская, С. Е. Особенности разработки проектных решений по организации реконструкции объектов с учетом экологической безопасности [Текст] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко // Строительство – 2021 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 176–178.

54. Манжилевская, С. Е. Оценка негативного воздействия мелкодисперсной пыли на городскую территорию от точечной застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская // Современные проблемы гражданской защиты. – 2025. – № 2 (55). – С. 116-125.

55. Манжилевская, С. Е. Оценка экологических издержек пылевого загрязнения атмосферы при локальном строительстве [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко, П. С. Дурнев // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 8. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6580> (дата обращения: 03.10.2025).

56. Манжилевская, С. Е. Перспективы развития зеленого строительства в России [Текст] / С. Е. Манжилевская, В. В. Боброва // Экспертиза и управление недвижимостью: информационное моделирование, энергосбережение, зеленые технологии : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 29–34.

57. Манжилевская, С. Е. Планирование и реализация строительных работ при точечной застройке для определения удельных пылевых выбросов [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – № 32 (84). – С. 75–84.

58. Манжилевская, С. Е. Повышение эффективности защитных мер экологической безопасности в организации строительства в городских условиях [Текст] / С. Е. Манжилевская, И. С. Кобелева // Актуальные проблемы науки и техники : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 1297–1298.

59. Манжилевская, С. Е. Применение алгоритмов машинного обучения при прогнозировании загрязнения PM_{2.5} в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская, Д. Р. Маилян // Строитель Донбасса. – 2025. – № 2 (31). – С. 85-93.

60. Манжилевская, С. Е. Применение зеленых крыш в точечном строительстве для повышения экологической безопасности городских территорий [Текст] / С. Е. Манжилевская, А. И. Евтушенко, Д. Р. Маилян // Безопасность техногенных и природных систем. – 2025. – № 2. – С. 136-145.

61. Манжилевская, С. Е. Применение пылезащитных экранов в точечном строительстве для повышения экологической безопасности городских территорий [Текст] / С. Е. Манжилевская, В. Н. Азаров // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – № 1 (69). – С. 232-237.

62. Манжилевская, С. Е. Применение экологичных строительных материалов в точечной застройке [Текст] / С. Е. Манжилевская, В. В. Боброва // Строительство и архитектура – 2024 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2023. – С. 250–251.

63. Манжилевская, С. Е. Природные и экологические условия организации территориального образования [Текст] / С. Е. Манжилевская, Кадер Аль Шамири Абдул // Мелиорация и водное хозяйство : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Новоч. гос. мелиорат. академ. – Новочеркасск, 2016. – С. 189–196.

64. Манжилевская, С. Е. Разработка и применение в проектировании модели локализации строительного производства с целью повышения экологической безопасности [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, А. В. Морозов // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 5. - URL: <https://esj.today/PDF/01SAVN519.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

65. Манжилевская, С. Е. Система оценки и прогноза качества атмосферного воздуха как цель экологизации строительной площадки [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 138–140.

66. Манжилевская, С. Е. Система экологического мониторинга уровня запыленности в зоне строительства как способа экологизации строительного производства [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 447–448.

67. Манжилевская, С. Е. Система экономически эффективных инструментов для повышения экологической безопасности в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы

VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 322–323.

68. Манжилевская, С. Е. Систематизация мероприятий по охране и улучшению окружающей среды г. Ростова-на-Дону [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко, Г. А. Шиндиян // Вестник евразийской науки. – 2019. – № 3. - URL: <https://esj.today/PDF/62SAVN319.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

69. Манжилевская, С. Е. Снижение влияния загрязнения частицами мелкодисперсной пыли PM_{0,5}–PM₁₀ при строительстве на здоровье рабочих [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко, И. С. Кобелева // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 7. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2020/6530> (дата обращения: 03.10.2025).

70. Манжилевская, С. Е. Сокращение концентрации мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ в строительстве за счет оптимизации объектов на строительной площадке [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, В. В. Боброва, Н. Д. Кацман // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 2. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9013> (дата обращения: 03.10.2025).

71. Манжилевская, С. Е. Способы борьбы с мелкодисперсной пылью на строительной площадке при производстве каменно-монтажных работ [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, А. И. Кирюхин, А. В. Колесников // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 7. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6081> (дата обращения: 03.10.2025).

72. Манжилевская, С. Е. Способы расчета стоимости экологического ущерба от строительных работ, как метод повышения эффективности экологической безопасности в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 294–296.

73. Манжилевская, С. Е. Строительная площадка, как источник загрязнения воздушной среды городских территорий [Электронный ресурс] / С. Е.

Манжилевская, Е. О. Еманов, И. Цзиньлэй // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 2. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9011> (дата обращения: 03.10.2025).

74. Манжилевская, С. Е. Строительство в стесненных условиях городской застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская, В. В. Боброва // Перспективные технологии в строительстве и техносферной безопасности 2023 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 5-9.

75. Манжилевская, С. Е. Техничко-экономическое обоснование выбора пылеулавливающего оборудования в проектных решениях реконструкции зданий [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, М. Д. Дарсигов, Е. С. Кравченко // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6831> (дата обращения: 03.10.2025).

76. Манжилевская, С. Е. Управление жизненным циклом инвестиционного проекта строительства с учетом важности экологических факторов [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, Д. В. Попов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 10. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7216> (дата обращения: 03.10.2025).

77. Манжилевская, С. Е. Управление эколого-экономическими рисками как способ повышение эффективности строительного производства [Текст] / С. Е. Манжилевская // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 393–394.

78. Манжилевская, С. Е. Устойчивое развитие участка застройки с учетом экологической безопасности в городских условиях [Текст] / С. Е. Манжилевская // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – № 2 (2). – С. 51–61.

79. Манжилевская, С. Е. Устройство зеленой кровли как способ повышения экологической безопасности окружающей среды при реконструкции и строительстве [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская, А. В. Грибанов //

Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6498> (дата обращения: 03.10.2025).

80. Манжилевская, С. Е. Экологическая безопасность в строительстве [Текст] : учеб. пособие / С. Е. Манжилевская, В. Н. Азаров, Л. К. Петренко. – Ростов-на-Дону : Донской гос. техн. ун-т, 2020. – 122 с.

81. Манжилевская, С. Е. Экологические риски на строительной площадке при точечной застройке в городе [Текст] / С. Е. Манжилевская // Экология и промышленность России. – 2024. – № 6 (28). – С. 35–41.

82. Манжилевская, С. Е. Экологические риски при точечной застройке: анализ загрязнения атмосферы городской территории PM_{2,5} и PM₁₀ [Текст] / С. Е. Манжилевская, Н. С. Бакин, В. Н. Азаров // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2025. – № 2 (74). – С. 163–176.

83. Манжилевская, С. Е. Экологический мониторинг экологической безопасности в зонах строительства, реконструкции и функционирования объектов [Текст] / С. Е. Манжилевская // Строительные материалы и изделия. – 2019. – № 3 (2). – С. 78–84.

84. Манжилевская, С. Е. Эффективность инвестиций в реконструкцию объектов городской застройки [Текст] / С. Е. Манжилевская, Д. О. Богомазюк, М. В. Васильев // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 5. – С. 182–186.

85. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Текст]. – СПб. : ОАО «НИИ Атмосфера», 2012. – 224 с.

86. МИ 1317-2004. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров [Текст]. – Москва : ФГУП ВНИИМС, 2004. – 53 с.

87. Научно-методический подход к определению экологического ущерба от выбросов предприятий строительного комплекса [Текст] / Ю. С. Михайловская [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2016. – № 43 (62). – С. 189–198.

88. О влиянии мелкодисперсной пыли на здоровье человека и качество окружающей среды [Текст] / Н. М. Сергина [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Волг. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2022. – С. 448–455.

89. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : федер. закон РФ № 68-ФЗ от 21.12.1994 года (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295 (дата обращения: 03.10.2025).

90. О разработке графика учета удельного объема пылевых выбросов частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в строительстве [Текст] / С. Е. Манжилевская [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2025. – № 2 (99). – С. 202-210.

91. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : федер. закон РФ № 52-ФЗ от 30.03.1999 года (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (дата обращения: 03.10.2025).

92. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : постановление Правительства РФ от 16.02.2008 года № 87 (ред. от 06.05.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_341489/ (дата обращения: 03.10.2025).

93. Об охране атмосферного воздуха : федер. закон РФ № 96-ФЗ от 04.05.1999 года (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971 (дата обращения: 03.10.2025).

94. Об охране окружающей среды : федер. закон РФ № 7-ФЗ от 10.01.2002 года (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 03.10.2025).

95. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в воздушной среде [Текст] / В. Н. Азаров [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2011. – № 25 (44). – С. 402–406.

96. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 января 2021 года № 59 [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400189242/> (дата обращения: 03.10.2025).

97. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06.06.2017 года № 273 [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906> (дата обращения: 03.10.2025).

98. Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию : приказ Минприроды России от 29.11.2019 года № 813 [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_341489 (дата обращения: 03.10.2025).

99. Об экологической экспертизе : федер. закон РФ № 174-ФЗ от 23.11.1995 года (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8515 (дата обращения: 03.10.2025).

100. Организация мероприятий по охране атмосферного воздуха на строительных площадках от воздействия мелкодисперсной пыли [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5658> (дата обращения: 03.10.2025).

101. Основные экологические требования, существующие при выполнении работ на строительной площадке [Электронный ресурс] / С. Е. Манжилевская [и

др.] // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 2. - URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN219.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

102. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129117/ (дата обращения: 03.10.2025).

103. Пат. 2285800 Российская Федерация, МПК E21C 41/32. Способ снижения выноса пыли с поверхности техногенного массива [Текст] / С. Г. Гендлер, В. С. Кузнецов, Н. А. Мироненкова. – № 2005119371/03 ; заявл. 21.06.2005 ; опубл. 20.10.2006, Бюл. № 29.

104. Пат.139131 Российская Федерация, МПКЕ04В 1/92. Устройство для снижения выноса пыли со строительной площадки [Текст] / М. В. Трохимчук, К. А. Трохимчук. – № 2013150487/03 ; заявл. 12.11.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10.

105. Пат.150465 Российская Федерация, МПК E02D 17/00. Пылезащитное устройство в строительстве [Текст] / М. В. Трохимчук, К. А. Трохимчук. – № 2014136502/03 ; заявл. 08.09.2014 ; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.

106. Пат.163334 Российская Федерация, МПК E04D 11/11. Конструкция зеленой кровли [Текст] / С. Е. Манжилевская, Л. К. Петренко, А. В. Войт. – № 2015153616/03 ; заявл. 14.12.2015 ; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

107. Пат.191863 Российская Федерация, МПК E04D 11/00. Конструкция зеленой кровли [Текст] / Л. К. Петренко [и др.]. – № 2019119818 ; заявл. 26.06.2019 ; опубл. 26.08.2019, Бюл. № 24.

108. Пат.192629 Российская Федерация, МПК E04В 1/92(2006.01), E04G 5/00 (2006.01). Пылезащитный экран [Текст] / Л. К. Петренко [и др.]. – № 2019121222 ; заявл. 08.07.2019 ; опубл. 24.09.2019, Бюл. № 27.

109. Пат.197551 Российская Федерация, МПК E21F 5/02. Пушка пылеподавления [Текст] / Л. К. Петренко [и др.]. – № 2020101635 ; заявл. 17.01.2020 ; опубл. 13.05.2020, Бюл. № 14.

110. Петренко, Л. К. Организационно-экономические аспекты природопользования [Электронный ресурс] / Л. К. Петренко, С. Е. Манжилевская // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 3 (42). – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3715> (дата обращения: 03.10.2025).

111. Петренко, Л. К. Требования к выполнению проектных работ, влияющих на экологическую безопасность строительства [Текст] / Л. К. Петренко, С. Е. Манжилевская, А. Н. Беркутов // Строительство–2014 : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 153–155.

112. РД 52.04.893-2020. Массовая концентрация взвешенных веществ в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений гравиметрическим методом [Текст]. – СПб. : ФГБУ «ГГО», 2020. – 19 с.

113. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки [Текст]. – Москва : ЦНИИП ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА, 1986. – 61 с.

114. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/d46bb4ace56674ca6db0882f108e864d328f231d/ (дата обращения: 03.10.2025).

115. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_74669 (дата обращения: 03.10.2025).

116. Системы имитационного моделирования для реализации экологической безопасности [Электронный ресурс] / В. Н. Азаров [и др.] //

Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 1. – URL: <https://esj.today/PDF/39SAVN119.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

117. Снижение негативного воздействия на окружающую среду объектов точечной застройки при благоустройстве территории с применением тротуарной плитки из переработанного полимера [Текст] / А. А. Овсепян [и др.] // Строитель Донбасса. – 2025. – № 2 (31). – С. 94-100.

118. Снижение экологических рисков инвестиционно-строительных проектов в городской застройке [Текст] / С. Е. Манжилевская [и др.] // Строительство и архитектура – 2024 : материалы междунар. науч.-практ. конф./ Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 229.

119. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_350256 (дата обращения: 03.10.2025).

120. Стреляева, А. Б. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью [Электронный ресурс] / А. Б. Стреляева, Н. С. Барикаева, Е. А. Калюжина // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2014. – № 3 (34). – URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1715> (дата обращения: 03.10.2025).

121. Стреляева, А. Б. Экологическая безопасность при проведении земляных и строительно-отделочных работ [Текст] / А. Б. Стреляева, Е. А. Калюжина // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – № 50 (69). – С. 321–329.

122. Сумеркин, Ю. А. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов [Текст] / Ю. А. Сумеркин, В. И. Теличенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 6. – С. 75–79.

123. Сысоева, Е. В. Методика обоснования эффективности улавливания пыли «зелеными» крышами [Текст] / Е. В. Сысоева // Вестник МГСУ. – 2022. – № 9. – С. 1187–1205.

124. Сысоева, Е. В. Методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в городской атмосфере [Текст] / Е. В. Сысоева // Вестник МГСУ. – 2022. – № 8. – С. 1027–1045.

125. Трудовой кодекс Российской Федерации (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 03.10.2025).

126. Угай, С. М. Воздушное и шумовое загрязнение урбанизированных территорий Приморского края по оценке проживающего населения [Текст] / С. М. Угай // XXII Международная конференция по науке и технологиям Россия-Корея-СНГ : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2022. – С. 144–148.

127. Учет загрязнения воздуха от точечного строительства в сводных расчетах загрязнения атмосферного воздуха [Текст] / М. В. Оводков [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2024. - № 3 (96). – С. 166–175.

128. Фукс, Н. А. Высокодисперсные аэрозоли [Текст] / Н. А. Фукс, А. Г. Сутугин. – Москва : Физическая химия, 1969. – 83 с.

129. Экологические требования при проектировании и строительстве объектов [Электронный ресурс] / В. Н. Азаров [и др.] // Вестник Евразийской науки. – 2018. – № 6. – URL: <https://esj.today/PDF/96SAVN618.pdf> (дата обращения: 03.10.2025).

130. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises [Text] / V. N. Azarov [et al.] // International Review of Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 7, Issue 5. - P. 132-136. – DOI: 10.15866/IRECE.V7I5.9869.

131. Air Pollution and Lung Cancer [Text] / I. A. J. D. Kusumawardani [et al.] // Jurnal Respirasi. – 2023. – Vol. 9. - P. 150–158. – DOI: 10.20473/jr.v9-I.2.2023.150-158.

132. An ARPS-CMAQ Modeling Approach for Assessing the Atmospheric Assimilative Capacity of the Beijing Metropolitan Region [Text] / S. Cheng [et al.] // Water Air Soil Pollut. – 2007. – Vol. 181. - P. 211–224. – DOI: 10.1007/s11270-006-9294-8.

133. Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in dust of residential area in Xi'an urban area [Electronic resource] / B. Yu [et al.] // China. Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2021. – Vol. 208. – P. 111679. – DOI:10.1016/j.ecoenv.2020.111679.

134. Assessment of Bacteria, Morphological Characteristics and Elemental Composition of Dust Fallout [Text] / P. Mweendi [et al.] // Environ. Prot. – 2023. – Vol. 11. - P. 114–130. – DOI: 10.4236/gep.2023.118007.

135. Assessment of Pollution Sources and Contribution in Urban Dust Using Metal Concentrations and Multi-Isotope Ratios (^{13}C , $^{207}/^{206}\text{Pb}$) in a Complex Industrial Port Area, Korea [Electronic resource] / M.-S. Kim [et al.] // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12. – P. 840. – DOI: 10.3390/atmos12070840.

136. Azarov, V. Environmental Monitoring of Ecological Safety During Construction Works [Electronic resource] / V. Azarov, S. Manzhilevskaya, L. Petrenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Issue 5. – P. 055003. – DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055003.

137. Azarov, V. N. Monitoring of fine particulate air pollution as a factor in urban planning decisions [Text] / V. N. Azarov, N. S. Barikaeva, T. V. Solovyeva // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. - P. 2001–2007. – DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.279.

138. Azarov, V. N. Research of dust content in the earthworks working area / V. N. Azarov, M. K. Trokhimchyk, O. P. Sidelnikova [Text] // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. - P. 2008–2012. – DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.282.

139. Azarov, V. Organizational and economic problems of ecological safety in construction [Electronic resource] / V. Azarov, S. Manzhilevskaya, L. Petrenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, Issue 5. – P. 055007. – DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055007.

140. Azarov, V. The pollution prevention during the civil construction [Electronic resource] / V. Azarov, S. Manzhilevskaya, L. Petrenko // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 196. – P. 04073. – DOI: 10.1051/mateconf/201819604073.

141. Azarov, V. The Study of Local Dust Pollution of Atmospheric Air on Construction Sites in Urban Areas [Text] / V. Azarov, L. Petrenko, S. Manzhilevskaya // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – Vol. 983. - P. 430–439. – DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_43.

142. Boguslavsky, E. I. Assessment of the concentration and dispersed composition of dust in the air of working and serviced zones [Text] / E. I. Boguslavsky, V. N. Azarov // *Life safety*. – 2005. – Vol. 2. - P. 46–47.

143. Cheriyan, D. A review of research on particulate matter pollution in the construction industry [Electronic resource] / D. A Cheriyan, J.-H. Choi // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 254. – P. 120077. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120077.

144. Chong, Celine. The Investigation of Air Pollution for Carbon Monoxide Evaluations in Guatemala City [Text] / Celine Chong // *Journal of Global Ecology and Environment*. – 2023. – Vol. 1 – P. 29–35. – DOI: 10.56557/jogee/2023/v17i28131.

145. Comparison of PM10 Sources at Traffic and Urban Background Sites Based on Elemental, Chemical and Isotopic Composition: Case Study from Krakow, Southern Poland [Electronic resource] / L. Samek [et al.] // *Atmosphere*. – 2021. – Vol. 12. – P. 1364. – DOI:10.3390/atmos12101364.

146. Control Dust Pollution on Construction Sites: What Governments Do in China? [Electronic resource] / J. Xing [et al.] // *Sustainability* – 2018. – Vol. 10. – P. 2945. – DOI: 10.3390/su10082945.

147. Dickerson, D. E. Environmental relative burden index: A streamlined life cycle assessment method for facilities pollution prevention [Text] / D. E. Dickerson // *J. Green Build*. – 2016. – Vol. 11. – P. 95–107. – DOI: 10.3992/jgb.11.1.95.1.

148. Dust control measures in the construction industry [Text] / T. N. Evelyn [et al.] // *Ann. Occup. Hyg.* – 2003. – Vol. 47. - P. 211–218.

149. Dust pollution control on construction sites: Awareness and self-responsibility of managers [Text] / J. Zuo [et al.] // *J. Clean. Prod.* – 2017. – Vol. 166. - P. 312–320. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.027.

150. Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5) [Text] / N. V. Menzelintseva [et al.] // International Review of Civil Engineering. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–8. – DOI: 10.15866/irece.v7i6.9750.

151. Gendler, Simeon. The justification of new technique ventilation at constriction of working with two exits in soil surface [Text] / Simeon Gendler // Eurasian Mining. – 2016. – Vol. 2. - P. 41–44. – DOI: 10.17580/em.2016.02.10.

152. Giachetta, G. Lagrangian and Hamiltonian Methods in Field Theory [Text] / G. Giachetta, L. Mangiarotti, G. Sardanashvily. – World Scientific, 1997. – 464 p.

153. Green Roof as Ecological Security Design Solution During Reconstruction of Buildings [Text] / S. Manzhilevskaya [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 247. - P. 235–245. – DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_24.

154. Hu, M. Assessment of effective energy retrofit strategies and related impact on indoor environmental quality [Text] / M. Hu // J. Green Build. – 2017. – Vol. 12. - P. 38–55. – DOI: 10.3992/1943-4618.12.2.38.

155. Huang, Y. Cascades and Kolmogorov's lognormal scaling in two-dimensional bacterial turbulence [Electronic resource] / Y. Huang // Phys. Fluids. – 2024. – Vol. 36. – P. 065149. – DOI: 10.48550/arXiv.2410.01361.

156. Ilyichev, V. A. Issues of comfort and safety of the urban environment and their solution within the framework of legislative and regulatory documents [Text] / V. A. Ilyichev, V. I. Kolchunov, N. V. Bakaeva // Building and reconstruction. – 2021. – Vol. 94. - P. 74-85. – DOI: 10.33979/2073-7416-2021-94-2-74-85.

157. Indoors air pollution and acute intoxication with carbon monoxide [Text] / N. Taus [et al.] // Journal of Environmental Protection and Ecology. – 2008. – Vol. 9. – P. 773–781.

158. Investigation of air pollution with fine dust during repair and construction work inside premises [Electronic resource] / A. Evtushenko [et al.] // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. – 2021. – Vol. 937. - P. 022082. – DOI:10.1088/1755-1315/937/2/022082.

159. Ishkuvatov, R. Approximating Kolmogorov complexity [Text] / R. Ishkuvatov, D. Musatov, A. Shen // Computability. – 2023. – Vol. 12. - P. 283–297. – DOI: 10.3233/COM-200302.
160. Karin, A.-D. Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States [Electronic resource] / A.-D. Karin, K. Clifford, J. Hand // GeoHealth. – 2023. – Vol. 7. – P. 1029. – doi.org/10.1029/2023GH000953.
161. Khadija, H. The contribution of the carbon monoxide in the air pollution of the greater Casablanca [Text] / H. Khadija, B. Lahcen // Indian Journal of Environmental Protection. – 2017. – Vol. 37. - P. 410-414.
162. Kim, J.-H. Environmental monitoring of toxic metals in roadside soil and dust in Ulsan, South Korea: Pollution evaluation and distribution characteristics [Electronic resource] / J.-H. Kim, J.-I. Sohn, S.-Y. Oh // Environ Monit Assess – 2020. – Vol. 192. – P. 773. – DOI:10.1007/s10661-020-08745-w.
163. Kumi, L. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types [Electronic resource] / L. Kumi, J. Jeong, J. Lee // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – P. 1137. – DOI.org/10.3390/buildings12081137.
164. Kvesitadze, G. I. Innovative Methodologies for Environmental Protection [Text] / G. I. Kvesitadze, B. C. Meskhi, V. I. Bespalov // Ecology, environmental protection, carbon neutrality and development: Sino-Russian ASRTU symposium: collection of works. – Rostov-on-Don : DSTU, 2021. – P. 5-7.
165. Lapko, A. Estimation of traditional numerical characteristics of lognormal distribution laws of a one-dimensional random variable in conditions of large volume statistical data [Text] / A. Lapko, L. Vasiliy // Measurement Techniques. – 2024. – Vol. 2. - P. 23–29. – DOI: 10.1007/s11018-024-02332-y.
166. Lumens, M. E. G. L. Determinants of exposure to respirable quartz dust in the construction industry [Text] / M. E. G. L. Lumens, T. Spee // Annals of Occupational Hygiene. – 2001. – Vol. 45. - P. 585–595.

167. Manzhilevskaya, S. Dust Pollution in Construction Sites in Point-Pattern Housing Development [Electronic resource] / S. Manzhilevskaya // Buildings. – 2024. – Vol. 14. – P. 2991. – DOI: 10.3390/buildings14092991.

168. Manzhilevskaya, S. Environmental Assessment of Dust Pollution in Point-Pattern Housing Development [Electronic resource] / S. Manzhilevskaya // Buildings. – 2025. – Vol. 15. – P. 1466. – DOI: 10.3390/buildings15091466.

169. Manzhilevskaya, S. Fine dust atmospheric pollution from the objects of infill construction [Electronic resource] / S. Manzhilevskaya, A. Lihonosov, L. Petrenko // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 135. – P. 01020. – DOI: 10.1051/e3sconf/201913501020.

170. Manzhilevskaya, S. Improving design solutions for the organization of construction production and the construction site equipment taking into account environmental safety during the reconstruction of facilities [Electronic resource] / S. Manzhilevskaya, L. Petrenko, V. Azarov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 913. – P. 042013. – DOI: 10.1088/1757-899X/913/4/042013.

171. Manzhilevskaya, S. Monitoring Methods for Fine Dust Pollution During Construction Operations [Text] / S. Manzhilevskaya, L. Petrenko, V. Azarov // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1259. - P. 332–340. – DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6_29.

172. Manzhilevskaya, S. Social and economic aspects of environmental protection measures for environmental safety [Text] / S. Manzhilevskaya, L. Petrenko // Advances in Economics, Business and Management Research. – 2019. – Vol. 90. - P. 139–142. – DOI: 10.2991/ispcbc-19.2019.34.

173. Manzhilevskaya, S. Vertical Distribution of Fine Dust During Construction Operations [Text] / S. Manzhilevskaya, L. Petrenko, V. Azarov // Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2020. – Vol. 1259. - P. 324–331. – DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6_28.

174. Marchuk, G. I. Mathematical models in environmental problems [Text] / G. I. Marchuk. – England : Elsevier, 2012. – 542 p.

175. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model [Electronic resource] / S.-W. Han [et al.] // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15. – P. 477. – DOI: 10.3390/atmos15040477.

176. Noh, H.-J. Identifying Effective Fugitive Dust Control Measures for Construction Projects in Korea [Electronic resource] / H.-J. Noh, S.-K. Lee, J.-H. Yu // Sustainability. – 2018. – Vol. 10. – P. 1206. – DOI: 10.3390/su10041206.

177. Occupational health risk assessment based on actual dust exposure in a tunnel construction adopting roadheader in Chongqing [Electronic resource] / X. Chen [et al.] // China. Build. Environ. – 2019. – Vol. 165. – P. 106415. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106415.

178. Predictive modeling of indoor dust lead concentrations: Sources, risks, and benefits of intervention [Electronic resource] / M. Dietrich [et al.] // Environ. Pollut. – 2023. – Vol. 319. – P. 121039. – DOI:10.1016/J.ENVPOL.2023.121039.

179. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout [Electronic resource] / G. Tao [et al.] // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – P. 531. – doi.org/10.3390/buildings12050531.

180. Reduction of Outdoor and Indoor PM_{2.5} Source Contributions via Portable Air Filtration Systems in a Senior Residential Facility in Detroit, Michigan [Electronic resource] / Z. M. Klaver [et al.] // Toxics. – 2023. – Vol. 11. – P. 1019. – DOI: 10.3390/toxics11121019.

181. Rice, S. O. Mathematical analysis of random noise [Text] / S. O. Rice. – London : Bell Syst. Tech., 2004. – 416 p.

182. Samaradiwakara, D. S. Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust [Text] / D. S. Samaradiwakara, H. M. T. G. A. Pitawala // Ceylon J. Sci. – 2021. – Vol. 50. – P. 475–486. – DOI: 10.4038/cjs.v50i4.7946.

183. Sarkar, A. Monitoring of construction dust and assessment of probable increment in mortality risks for exposed construction workers at Kolkata, India [Text] /

A. Sarkar, B. Thakur, A. Gupta // *Atmósfera*. – 2024. – Vol. 38. - P. 779–801. – DOI: 10.20937/ATM.53337.

184. Sarkar, A. Particulate pollution at construction sites of Kolkata and associated health burden for exposed construction workers / A. Sarkar, B. Thakur, A. Gupta [Electronic resource] // *Urban Clim.* – 2023. – Vol. 52. – P. 101750. – DOI: 10.1016/j.uclim.2023.101750.

185. Sergina, N. M. Issues of protection of atmospheric air against dust pollution in production of construction materials [Electronic resource] / N. M. Sergina // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. Int. Conf. Constr. Archit. TechnosphereSaf.* – 2019. – Vol. 687. – P. 066034. – DOI:10.1088/1757-899X/687/6/066034.

186. Spatial dispersion laws of fugitive dust from construction sites [Text] / G. Tian [et al.] // *Huan Jing KeXue*. – 2008. – Vol. 29. - P. 259–262.

187. Stefanenko, I. V. Dust collecting system for the cleaning of atmospheric ventilation emissions [Text] / I. V. Stefanenko, V. N. Azarov, N. M. Sergina // *Applied Mechanics and Materials*. – 2018. – Vol. 878. - P. 269–272. – DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.878.269.

188. Sun, W.-Y. Diffusion model for a convective layer. Part 2: Plume released from a continuous point source [Text] / W.-Y. Sun, C.-Z. Chang // *J. Climate Appl. Meteorol.* – 2006. – Vol. 25. - P. 1454–1463.

189. The construction dust-induced occupational health risk using Monte-Carlo simulation [Text] / R. Tong [et al.] // *J. Clean. Prod.* – 2018. – Vol.184. - P. 598–608. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.286.

190. The Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel Experiment [Electronic resource] / Y. Zhang [et al.] // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10. – P. 412. – DOI: 10.3390/toxics10080412.

191. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 [Electronic resource] / W. Stephanie [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* – 2022. – Vol. 22. – P. 14503. – DOI:10.5194/acp-22-14503-2022.

192. Time-Series Monitoring of Dust-Proof Nets Covering Urban Construction Waste by Multispectral Images in Zhengzhou, China [Electronic resource] / Z. Li // Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – P. 3805. – DOI: 10.3390/rs14153805.

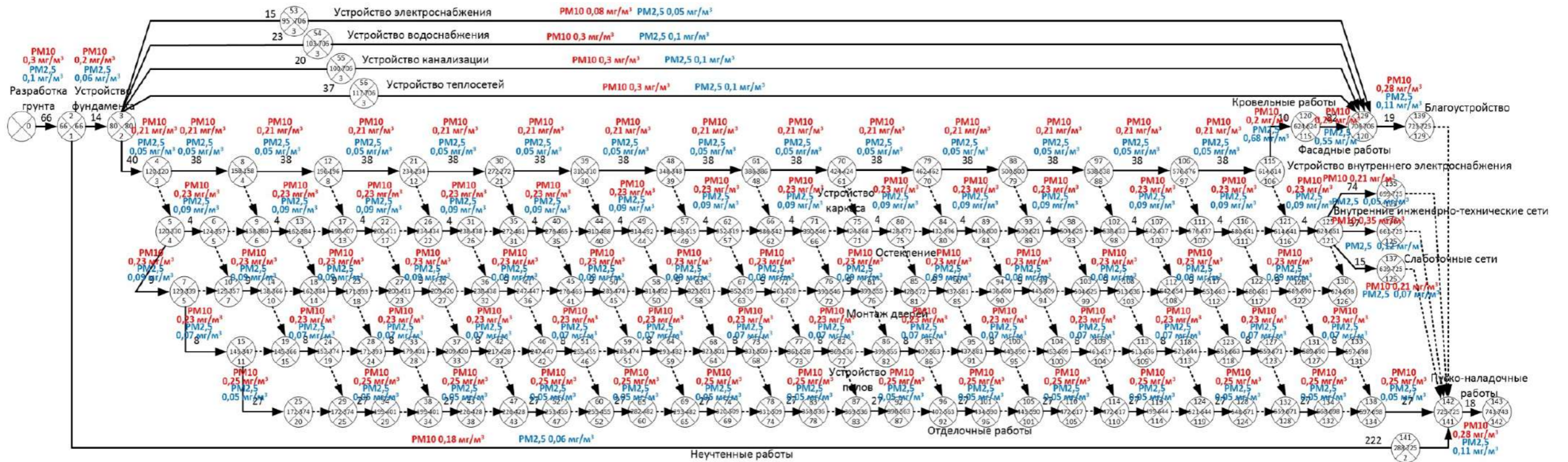
193. WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide [Text]. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 300 p.

194. William, B. Regulatory Methods Used in Writing NPDES Permits for the Shipbuilding and Repair Industry [Text] / B. William, A. Ellwood // Nav. Eng. J. – 2009. – Vol. 111. - P. 91–97.

195. Wu, Z. Mitigating construction dust pollution: State of the art and the way forward [Text] / Z. Wu, X. Zhang, M. Wu // J. Clean. Prod. – 2016. – Vol. 112. - P. 1658–1666. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.015.

196. Xu, L. Preparation and Optimization of a Novel Dust Suppressant for Construction Sites [Electronic resource] / L. Xu, Z. Pei // J. Mater. Civ. Eng. – 2017. – Vol. 29. – P. 04017051. – DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001902.

Сетевой график производства работ с учетом дополнительной информации о прогнозировании запыленности в зоне производства технологических строительных операций при точечной застройке

[illegible]

Патенты на полезные модели

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 163334

КОНСТРУКЦИЯ ЗЕЛеной КРОВЛИ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

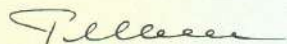
Заявка № 2015153616

Приоритет полезной модели 14 декабря 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 24 июня 2016 г.

Срок действия патента истекает 14 декабря 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 191863

Конструкция зеленой кровли

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Петренко Любовь Константиновна (RU), Манжилевская Светлана Евгеньевна (RU), Тимошенко Елена Викторовна (RU), Семерникова Алена Денисовна (RU)*

Заявка № 2019119818

Приоритет полезной модели 26 июня 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 26 августа 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 26 июня 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 197551

Пушка пылеподавления

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Петренко Любовь Константиновна (RU), Манжилевская Светлана Евгеньевна (RU), Кирюхин Алексей Иванович (RU), Колесников Александр Владимирович (RU)*

Заявка № 2020101635

Приоритет полезной модели 17 января 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 13 мая 2020 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 17 января 2030 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 192629

Пылезащитный экран

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Петренко Любовь Константиновна (RU), Манжилевская Светлана Евгеньевна (RU), Коваль Наталья Вячеславовна (RU), Тутаев Алим Анзорович (RU)*

Заявка № 2019121222

Приоритет полезной модели 08 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 24 сентября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 08 июля 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акты о внедрении результатов диссертационной работы



115162, г. Москва, внутригородская территория города федерального значения
муниципальный округ Даниловский, улица Хавская,
дом 11, этаж/помещение/комната 6/1/15
Тел. 499 391 08 85
email: info@ibtmos.com

Р/С: 40702810801040000430 в Филиале "Центральный" Банка ВТБ (ПАО) в г.Москве

№ _____ от _____

на № _____ от _____

В диссертационный совет 24.2.282.11

(Д 212.028.04)

при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический
университет»

400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

Дана Манжилевской С. Е. в том, что научно-технический совет ООО «ИБТ» рекомендовал к внедрению методику разработки Атласа пыли для изучения физико-химических свойств частиц пыли в составе пылевых выбросов, образующихся при производстве строительных работ в состав проектно-технической документации на строительство и реконструкцию наземных станционных комплексов метрополитена на территории г. Москва с целью контроля распространения загрязнения атмосферного воздуха на прилегающую территорию плотной городской застройки.

Начальник участка
инженерных сетей
ООО «ИБТ»



Смагин Д.И.



115162, г. Москва, внутригородская территория города федерального значения
муниципальный округ Даниловский, улица Хавская,
дом 11, этаж/помещение/комната 6/1/15
Тел. 499 391 08 85
email: info@ibtmos.com

Р/С: 40702810801040000430 в Филиале "Центральный" Банка ВТБ (ПАО) в г. Москве

№ _____ от _____

на № _____ от _____

В диссертационный совет 24.2.282.11
(Д 212.028.04)
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический
университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

Дана Манжиливской С. Е. в том, что научно-технический совет ООО «ИБТ» рекомендовал к внедрению применение опытно-промышленной установки пушки пылеулавливания ПП 2020 (Пат. на п.м. №197551 РФ) в производство подрядных работ согласно проекта № 12-4016-Р-ТПК ЮУ-22.2.3.3-ОВ (договор «97-0217-ОК-1 от 25.04.2017) по устройству систем отопления и теплоснабжения при строительстве станционного комплекса «Улица новаторов», вестибюль №1 расположенному по адресу ул. Новаторская, 11 с целью снижения пылевых выбросов при производстве работ на строительной площадке и контроля распространения загрязнения атмосферного воздуха на жилую зону.

Начальник участка
инженерных сетей
ООО «ИБТ»



Смагин Д.И.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
 ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ДГТУ)**

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
 Приемная ректора т.8(863) 273-85-25
 Общий отдел т.8(863) 273-85-11
 Факс 8(863) 232-79-53
 E-mail: reception@donstu.ru
 г. № _____

В диссертационный совет 24.2.282.11
 (Д 212.028.04)
 при ФГБОУ ВО Волгоградский
 государственный технический университет»
 400074, Россия, Волгоградская обл.,
 г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

Дана Манжиливской Светлане Евгеньевне в том, что теоретические и экспериментальные положения ее диссертационной работы «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при точечной застройке городской среды от пылевого загрязнения» используются в учебном процессе при подготовке бакалавров (08.03.01), магистров (08.04.01) по направлению «Строительство», специалистов (08.05.01) по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений» на факультете «Промышленное и гражданское строительство» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».

Декан факультета
 «Промышленное и гражданское строительство»
 ФГБОУ ВО «ДГТУ»
 канд. техн. наук, доцент



Евтушенко А.И.



А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
ИНСТИТУТ РОСТОВСКИЙ ПРОМСТРОЙНИПРОЕКТ

344006, г. Ростов -на -Дону, Ворошиловский пр, 2/2
Телефакс: (863) 2409671; Телефон: (863) 2401101;
E-mail: psp@psniip.ru

№ 41 от 19.06.2023
На № _____ от _____

В диссертационный совет Д 24.2.282.04
(Д 212.028.09)
при ФГБОУ ВО «Волгоградский
«государственный технический
университет»

400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1

СПРАВКА

Дана Манжилевской Светлане Евгеньевне в том что научно-технический совет проектного института АО институт «Ростовский Промстройинипроект» рекомендовал к внедрению в проектно-техническую документацию для объекта на «Строительство исследовательской ядерной установки на базе многоцелевого реактора на быстрых нейтронах МБИР, акционерное общество «Государственный научный центр- научно-исследовательский институт атомных реакторов г. Димитровград, Ульяновская область» Договор №834-20/СП2 от 241 декабря 2020г. метод сетевого моделирования строительно-монтажных работ с учетом удельных показателей выбросов частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ на протяжении периода производства работ, разработанные ею в в ходе подготовки научной диссертации на тему «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при точечной застройке городской среды от пылевого загрязнения».

На основании разработанной сетевой модели рекомендовано внедрить в проектирование календаризацию строительных работ с учетом пылевых выбросов на протяжении всего строительства, эпюру удельных пылевых выбросов, которая проецирует ежедневный суммарный объем пылевого загрязнения частиц мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀ и дает возможность определить качественные и количественные показатели ПДК и в зависимости от условий применять мероприятия по нераспространению пылевого загрязнения за пределы территории строительной площадки.

Предложенные проектные решения дают возможность рассчитать для данного строительного производства суммарный валовый выброс пылевого загрязнения выделяемого на строительной площадке, путем расчета площади S эпюры пылевых выбросов, показатель максимальной концентрации за период строительства объекта, показатели среднегодовой и среднесуточной концентрации, которые могут быть определены ежедневно, например, в период максимальной загруженности строительного производства для контроля обеспечения подрядной организацией условий по соблюдению мероприятий по защите окружающей среды, в т.ч. показателей ПДК частиц мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе вблизи строительной площадки.

Генеральный директор —
Председатель НТС АО институт
«РостовскийПромстройинипроект»

Начальник строительного отдела
Главный инженер проекта

 **М.М.Толоконников**
 **В.В.Шкуренко**




А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
ИНСТИТУТ РОСТОВСКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ

344006, г. Ростов -на -Дону, Ворошиловский пр, 2/2
Телефакс: (863) 2409671; Телефон: (863) 2401101;
E-mail: psp@psniip.ru

№ 70 от 19.06.2023
На № _____ от _____

В диссертационный совет Д 24.2.282.04
(Д 212.028.09)

при ФГБОУ ВО «Волгоградский
«государственный технический
университет»

400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1

СПРАВКА

Дана Манжилевской Светлане Евгеньевне в том что научно-технический совет проектного института АО институт «Ростовский Промстройниипроект» утвердил для внедрения применение опытно-промышленных установок пылезащитного экрана ПЭ 2019 (пат. На п.м. №192629 РФ), пушки пылеулавливания ПП 2020 (Пат. На п.м. №197551 РФ) при разработке ПМОС (Перечень мероприятий по охране окружающей среды) в составе проектно-технической документации на строительство и реконструкцию капитальных объектов в городской застройке, разработанные ею в ходе подготовки научной диссертации на тему «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при точечной застройке городской среды от пылевого загрязнения» с целью снижения пылевых выбросов при производстве работ на строительной площадке и распространения загрязнения атмосферного воздуха на жилую зону.

Генеральный директор —
Председатель НТС АО институт
«РостовскийПромстройниипроект»

Начальник строительного отдела—
Главный инженер проекта

М.И. Колоконников
В.В. Шкуренко

РЖДСТРОЙ

Акционерное общество «РЖДстрой»
(АО «РЖДстрой»)
филиал

Специализированный мостовой трест

107140, г. Москва,
Красносельский тупик, д. 10, стр. 2
Тел./факс: 8 (499) 262-72-28
sptml@rzdstroy.ru; www.rzdstroy.ru
ОКПО 01100005; ОГРН 1067746082546;
ИНН/КПП 7708587205/770843001

от 28.01.2023 № 180

на № _____ от _____

В диссертационный совет Д 24.2.282.04
(Д 212.028.09)

при ФГБОУ ВО Волгоградский государственный
технический университет»

400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

Дана Манжилевской Светлане Евгеньевне в том, что научно-технический совет СМТ «СПЕЦМОСТОТРЕСТ» - ФИЛИАЛ АО «РЖДСТРОЙ» утвердил для внедрения применение опытно-промышленных установок пылезащитного экрана ПЭ 2019 (Пат. на п.м. №192629 РФ), пушки пылеулавливания ПП 2020 (Пат. на п.м. №197551 РФ) при строительстве и реконструкции капитальных объектов в городской застройке, разработанные ею в ходе подготовки научной диссертации на тему «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при точечной застройке городской среды от пылевого загрязнения» с целью снижения пылевых выбросов при производстве работ на строительной площадке и распространения загрязнения атмосферного воздуха на жилую зону.

Заместитель управляющего по строительству
СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»




Эрднеев Б.С.

23 января 2023 г.



Акционерное общество «РЖДстрой»
(АО «РЖДстрой»)
филиал
Специализированный мостовой трест


107140, г. Москва,
Красносельский тупик, д. 10, стр. 2
Тел./факс: 8 (499) 262-72-28
sfmt@rzdstroy.ru; www.rzdstroy.ru
ОКПО 01100005; ОГРН 1067746082546;
ИНН/КПП 7708587205/770843001

от 16.05.2021 № 2167

на № _____ от _____

В диссертационный совет Д 24.2.282.04
(Д 212.028.09)
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель управляющего по
строительству СМТ «Спецмостотрест»
филиал АО «РЖДстрой»



«16» мая 2021 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УСТРОЙСТВА ЗЕЛЕННОЙ КРОВЛИ ПРИ ОБНОВЛЕНИИ ФАСАДА ЗДАНИЯ ВОКЗАЛА ИВАНОВО.

Настоящим актом удостоверяется, что в апреле 2021г. до проведения строительных работ по обновлению фасада здания вокзала Иваново предварительно были организованы работы по устройству зеленой кровли с целью снижения концентрации пыли при выполнении работ по реконструкции (Пат. на п.м. 163334 Российская Федерация МПКЕ04D 11/00 (2006.01) Конструкция зеленой кровли/ Петренко Л.К., Манжилевская С.Е., Войт А.В., ДГТУ - 2019).

Результат проведенных замеров выбросов пыли в наиболее напряженный период выполнения работ составил 0,28мг/м3. При обновлении аналогичных объектов городской застройки концентрация пыли составляла 0,5мг/м3.

Таким образом, эффективность использования данной системы устройства зеленой кровли при проведении работ по обновлению фасада снизила показатели пылевого загрязнения территории ниже предельно-допустимой концентрации (приблизительно на 45%), а также повысила комфортность городской среды.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»

 Народовский Д.В.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»

 Атиев Д.В.

РЖДСТРОЙ

Акционерное общество «РЖДстрой»
(АО «РЖДстрой»)
филиал

Специализированный мостовой трест

107140, г. Москва,
Красносельский тупик, д. 10, стр. 2
Тел./факс: 8 (499) 262-72-28
sfmt@rzdstroy.ru; www.rzdstroy.ru
ОКПО 01100005; ОГРН 1067746082546;
ИНН/КПП 7708587205/770843001

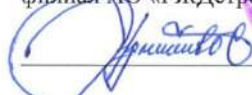
от 04.08.2022 № 3044

на № _____ от _____

В диссертационный совет 24.2.282.04
(Д 212.028.09)
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический университет)
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего по
строительству СМТ «Спецмостотрест»
филиал АО «РЖДстрой»



Эрднеев Б.С.

«04» августа 2022 г.

АКТ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ С ПЫЛЕЗАЩИТНЫМ ЭКРАНОМ.

Настоящим актом удостоверяется, что в июне 2022 г. прошли испытания опытно-промышленной установки с пылезащитным экраном ПЭ2019 (Пат. на п.м. 192629 Российская Федерация МПКЕ04В 1/92 (2006.01) E04G 5/00 (2006.01) Пылезащитный экран/ Петренко Л.К., Манжиловская С.Е., Коваль Н.В., Тутеев А.А., ДГТУ - 2019).


Испытания проводились в течение рабочей смены (8 часов) при строительстве объекта «Реконструкция здания вокзала Иваново». Средняя скорость движения воздушного потока через экран - $0,6 \pm 0,1$ м/с. Концентрация пыли до экрана $0,9 \pm 2$ мг/м³, после экрана $0,7 \pm 0,15$ мг/м³. Концентрация пыли на расстоянии 10 м от экрана $0,4 \pm 0,1$ мг/м³

Таким образом, пылезащитный экран обеспечивал снижение концентрации пыли значительно ниже предельно-допустимой концентрации в рабочей зоне, и концентрацию вне территории строительной площадки (10 и более метров) ниже предельно-допустимой концентрации в жилой зоне. Установка с пылезащитным экраном работала исправно, фактов забивания и нарушения целостности экрана не наблюдалось.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»  Народовский Д.В.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»  Атиев Д.В.



Акционерное общество «РЖДстрой»
(АО «РЖДстрой»)
филиал

Специализированный мостовой трест

107140, г. Москва,
Красносельский тупик, д. 10, стр. 2
Тел./факс: 8 (499) 262-72-28
spmt@rzdstroy.ru; www.rzdstroy.ru
ОКПО 01100005; ОГРН 1067746082546;
ИНН/КПП 7708587205/770843001

от 01.09.2022 № 8939
на № _____ от _____

В диссертационный совет 24.2.282.04
(Д 212.028.09)
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель управляющего по
строительству СМТ «Спецмостотрест»
филиал АО «РЖДстрой»


Эрднеев Б.С.
«01» сентября 2022 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УСТРОЙСТВА ЗЕЛЕННОЙ КРОВЛИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.

Настоящим актом удостоверяется, что в июнь 2022г. до проведения строительных работ по капитальному ремонту (реконструкции) здания вокзала Арзамас - 2 предварительно были организованы работы по устройству зеленой кровли с целью снижения концентрации пыли при выполнении работ по реконструкции (Пат. на п.м. 191863 Российская Федерация МПКЕ04D 11/00 (2006.01) E04D 11/00 (2019.05) Конструкция зеленой кровли/ Петренко Л.К., Манжильевская С.Е., Тимошенко Е.В., Семерникова А.Д., ДГТУ - 2019).

Результат проведенных замеров выбросов пыли в наиболее напряженный период выполнения работ по реконструкции здания составил 0,25мг/м3. При реконструкции аналогичных объектов концентрация пыли составляла 0,45мг/м3.

Таким образом, эффективность использования данной системы устройства зеленой кровли при проведении работ по капитальному ремонту (реконструкции) снизила показатели пылевого загрязнения прилегающей к дому территории ниже предельно-допустимой концентрации, а также повысила комфортность городской среды.


Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»

 Народовский Д.В.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой»

 Атиев Д.В.

РЖДСТРОЙ

Акционерное общество «РЖДстрой»
(АО «РЖДстрой»)
филиал
Специализированный мостовой трест

107140, г. Москва,
Красносельский тупик, д. 10, стр. 2
Тел./факс: 8 (499) 262-72-28
spmt@rzdstroy.ru; www.rzdstroy.ru
ОКПО 01100005; ОГРН 1067746082546;
ИНН/КПП 7708587205/770843001

от 19.10.2022 № 4190

на № _____ от _____

В диссертационный совет Д 24.2.282.04
(Д 212.028.09)
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего по
строительству СМТ «Спецмостотрест»
филиал АО «РЖДстрой»

Эрднеев Б.С.

«19» октября 2022 г.



АКТ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПУШКИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ.

Настоящим актом удостоверяется, что в октябре 2022г. прошли испытания опытно-промышленной установки пушки пылеподавления ПП 2020 (Пат. на п.м. 197551 Российская Федерация МПКЕ21F 5/02 (2006.01) E21F 5/02 (2020.02) Пушка пылеподавления/ Петренко Л.К., Манжиловская С.Е., Кирюхин А.И., Колесников А.В., ДГТУ - 2020)

Характеристики опытно-промышленной установки пушки пылеподавления ПП 2020:

Выброс струи воды – 15м;

Насос – 0,75kW;

Давление воды – 80 Bar.

Испытания проводились в течение рабочей смены (8 часов) на объекте «Техническое перевооружение вокзального комплекса Кострома с адаптацией для использования МГН». Средняя скорость движения воздушного потока от источника максимального выброса пыли (штукатурные, электромонтажные и другие работы) $0,6 \pm 0,1$ м/с. Начальная концентрация пыли $0,4 \pm 0,12$ мг/м³, после воздействия водяной струи пушки с магнитной насадкой концентрация составила $0,18 \pm 0,08$ мг/м³.

При отделочных работах пушка пылеподавления обеспечила снижение концентрации пыли на 50%, а при демонтажных на 80%, что значительно ниже предельно-допустимой концентрации пыли в воздухе на строительной площадке. Установка с пушкой пылеподавления работала исправно, фактов сбоев и остановки не наблюдалось.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой» Народовский Д.В.

Руководитель проекта

СМТ «Спецмостотрест» филиал АО «РЖДстрой» Атиев Д.В.



ООО «Альфа Инжиниринг»

Тел. (863) 209-88-80, office@alphae.ru
 ИНН 6165203910 КПП 616501001, ОГРН 1166196103545
 к/сч 40702810826070002752 в ФИЛИАЛ "РОСТОВСКИЙ" АО "АЛЬФА-БАНК" г. РОСТОВ-НА-ДОНУ,
 к/сч 30101810500000000207, БИК 046015207
 Юридический адрес: Россия, 344018, г. Ростов-на-Дону, ул. Текучева, 139 «В», помещение 301

В диссертационный совет Д 24.2.282.11
 при ФГБОУ ВО Волгоградский
 государственный технический
 университет»
 400074, Россия, Волгоградская обл.,
 г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

Дана Манжилевской С. Е. в том, что научно-технический совет ООО «Альфа Инжиниринг» рекомендовал к внедрению применение опытно-промышленной установки пушки пылеулавливания ПП 2020 (Пат. на п.м. №197551 РФ) в производство подрядных работ по устройству систем отопления, вентиляции, водоснабжения и водоотведения при реконструкции производственного корпуса Литер «В», расположенного по адресу: г. Ростов-на-Дону, ул. 50-ти летия Ростсельмаша, дом 10, для организации производства тракторов с целью снижения пылевых выбросов на строительной площадке и контроля распространения загрязнения атмосферного воздуха на городской территории.

Директор
 ООО «Альфа Инжиниринг»



Семко А.И.



ООО «Альфа Инжиниринг»

Тел. (863) 209-88-80, office@alphae.ru
 ИНН 6165203910 КПП 616501001, ОГРН 1166196103545
 к/сч 40702810826070002752 в ФИЛИАЛ "РОСТОВСКИЙ" АО "АЛЬФА-БАНК" г. РОСТОВ-НА-ДОНУ,
 к/сч 30101810500000000207, БИК 046015207
 Юридический адрес: Россия, 344018, г. Ростов-на-Дону, ул. Текучева, 139 «В», помещение 301

В диссертационный совет Д 24.2.282.11
 при ФГБОУ ВО Волгоградский
 государственный технический
 университет»
 400074, Россия, Волгоградская обл.,
 г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

АКТ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПУШКИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ.

Настоящим актом удостоверяется, что в сентябре 2024г. прошли испытания опытно-промышленной установки пушки пылеподавления ПП 2020 (Пат. на п.м. 197551 Российская Федерация МПКЕ21F 5/02 (2006.01) E21F 5/02 (2020.02) Пушка пылеподавления/ Петренко Л.К., Манжилевская С.Е., Кириухин А.И., Колесников А.В., ДГТУ - 2020)

Характеристики опытно-промышленной установки пушки пылеподавления ПП 2020:

Выброс струи воды – 8м;

Насос – 0,75kW;

Давление воды – 80 Bar.

Испытания проводились в течение рабочей смены (8 часов) при реконструкции производственного корпуса Литер «В», расположенного по адресу: г. Ростов-на-Дону, ул. 50-ти летия Ростсельмаша, дом 10, для организации производства тракторов. Средняя скорость движения воздушного потока от источника максимального выброса пыли (устройство систем водоснабжения и водоотведения, вентиляции и отопления) $0,6 \pm 0,1$ м/с. Начальная концентрация пыли $0,7 \pm 0,13$ мг/м³, после воздействия водяной струи пушки с магнитной насадкой концентрация составила $0,2 \pm 0,06$ мг/м³.

Таким образом, пушка пылеподавления обеспечила снижение концентрации пыли на 60%, что значительно ниже предельно-допустимой концентрации пыли в воздухе на строительной площадке. Установка с пушкой пылеподавления работала исправно, фактов сбоев и остановки не наблюдалось.

Директор
 ООО «Альфа Инжиниринг»



Семко А.И.



Индивидуальный предприниматель Акопян В.Ф.
346720, Ростовская область, г. Аксай, ул. Донская 25;
тел.: 8-863-5057422, e-mail: vovaakop@mail.ru.
моб. тел.: 8-908-506-97-99
ИНН 610203911058 ОГРНИП 314618116900069

СПРАВКА

о внедрении решений, разработанных в диссертационной работе
Манжильевской С.Е. «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при
точечном строительстве в городской среде от пылевого загрязнения»

Справка дана Манжильевской С.Е. в том, что строительный отдел группы компаний «АКСстрой» - индивидуальный предприниматель Акопян Владимир Феликсович внедрил методику сетевого моделирования учета удельного объема выброса частиц мелкодисперсной пыли PM_{2.5} и PM₁₀ при строительно-монтажных работах в процессе разработки рабочей документации на строительство объектов, чья строительная площадка располагается на территории городской застройки. Внедрение сетевого моделирования, ориентированного на защиту атмосферного воздуха городской территории, дало возможность оценить дневные объемы выбросов мелкодисперсной пыли PM_{2.5} и PM₁₀, общий уровень загрязнения в процессе строительства и, при необходимости, принимать соответствующие меры для минимизации распространения пыли за пределы строительного участка. Этот подход позволил не только следить за соблюдением предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ, но и адаптировать строительные процессы к существующим на сегодняшний день экологическим требованиям.

Индивидуальный предприниматель



/В.Ф. Акопян

ООО «Р-СТРОЙ»

ООО «Р-СТРОЙ»
344006, Россия, Ростовская обл.,
г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 61Б,
этаж 1, ком. 3

ОГРН: 1236100019011
ИНН: 6163229623
КПП: 616301001

В диссертационный совет Д 24.2.282.11
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический
университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Манжилевской С.Е. «Совершенствование системы защиты атмосферного воздуха при
точечном строительстве в городской среде от пылевого загрязнения»

Справка дана Манжилевской С.Е. в том, что на предприятии ООО «Р-Строй» по результатам диссертационных исследований была внедрена методика сетевого моделирования учета удельного объема выброса частиц мелкодисперсной пыли PM2.5 и PM10 при строительно-монтажных работах как часть рабочей документации. Разработка и внедрение графика учета удельного объема выбросов пыли при строительстве 14-этажного многоквартирного жилого дома по адресу г. Ростов-на-Дону жилой район «Левенцовский» микрорайон №5, корпус 5-10: строение 2 дало возможность сократить объемы пылевых выбросов от строительного производства до 20%. На основании анализа данных с эпюры, отображающей дневные объемы выбросов мелкодисперсной пыли PM2.5 и PM10 от строительного производства, данных о ветровых и температурных условиях производства строительных работ, появилась возможность оценить общий уровень загрязнения и, соответственно, принять следующие необходимые меры для минимизации распространения пыли за пределы строительной площадки:

- организация разезда строительных машин и механизмов, а также автотранспортных средств по площадке с минимальным совпадением по времени;
- оснащение брезентовыми тентами всех автотранспортных средств, самосвалов и контейнеровозов, перевозящих лом и строительный мусор, а также пневматическая очистка их колес перед выездом с территории строительной площадки;
- запрет на сжигание горючих отходов и строительного мусора на участке в пределах городской застройки;
- проезд и стоянка автомобильного транспорта на территории объекта исключительно по существующей дорожной сети объекта строительства и т.д.

Таким образом подтверждено, что моделирование удельных пылевых выбросов дает возможность эффективно прогнозировать моменты, когда и где могут образовываться в ходе производства работ периоды с избыточным пылением строительных процессов относительно допустимых пределов.

Директор ООО Р-Строй



Чумак Р.В.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
(Минприроды России)



Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей
среды»
(ФГБУ «ВНИИ Экология»)

В диссертационный совет Д 24.2.282.11
при ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный технический
университет»
400074, Россия, Волгоградская обл.,
г. Волгоград, ул. Академическая, д.1.

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБУ «ВНИИ Экология»



В.О.Петров.

2025 г.

СПРАВКА

Дана Манжиливской Светлане Евгеньевне по результатам сводного расчета выбросов загрязняющих веществ (Взвешенные вещества PM₁₀, Пыль неорганическая: до 20% SiO₂), проведенного на площадке Научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок ФГБУ «ВНИИ Экология» с применением расчетного комплекса УПРЗА «Эколог-город» версии 4.7, разработанного фирмой «Интеграл» с целью оценки пылевого загрязнения, вызываемого объектом точечной застройки в период пиковой загруженности (производство строительно-монтажных работ). Расчет проведен на основании данных инструментальных измерений объема и концентрации пылевых выбросов от строительных работ, предоставленных Манжиливской С.Е.

По результатам расчета доказано, что на строительной площадке в рабочей зоне производства работ уровень пылевого загрязнения превышает норматив ПДК (предельно допустимая концентрация) более чем в 2 раза, радиус воздействия такого уровня загрязнения сохраняется в радиусе до 40 метров, в зависимости от направления ветра.

В радиусе до 80 метров от строительной площадки в зависимости от направления ветра уровень концентраций взвешенных частиц в жилой зоне в ряде случаев может достигать 1,5 ПДК, что в период строительства объекта предполагает постоянное воздействие пылевого загрязнения на население, проживающие вблизи строительной площадки. На расстоянии порядка 120 метров от источника выбросов загрязняющих веществ уровень запылённости достигает допустимых значений, принимая во внимание фоновую концентрацию взвешенных веществ в городе.

На основании вышеизложенного подтверждено, что при стесненности городской застройки, воздействие пылевого загрязнения распространяется на прилегающие к строительной площадке здания и сооружения – жилые дома, общественные здания, деловые центры и т.д.

Руководитель научно-методического центра
экологического моделирования, прогнозирования
и оценок ФГБУ «ВНИИ Экология», к.т.н.

Оводков М.В.