

На правах рукописи



АХМЕДОВ АСВАР МИКДАДОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ**

2.10.2 Экологическая безопасность (технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Волгоград – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор **Азаров Валерий Николаевич**

Официальные оппоненты:

Шагидуллин Артур Рифгатович - доктор технических наук, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), старший научный сотрудник

Сысоева Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кафедра Архитектурно-строительного проектирования и физики среды, доцент

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет»

Защита состоится 18 декабря 2025 г. в 10 часов 30 мин.
на заседании диссертационного совета 24.2.282.11, созданном на базе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1 (корп. Б, ауд. 203).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-библиотечном центре ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и на официальном сайте <https://www.vstu.ru>

Автореферат разослан « » 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Околелова Алла Ароновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Ежегодно для обеспечения жителей населенных пунктов нашей страны осуществляется строительство, капитальный ремонт и реконструкция трубопроводов газо-, водо- и теплоснабжения. Причем «львиная» доля инженерных сетей проложена в подземном исполнении. Поэтому невозможно обойтись без проведения земляных работ, которые сопровождаются пылением. Исследования запыленности воздуха, например, в зоне работы одноковшового экскаватора, показали, что концентрация пыли вблизи места работы машин превышает нормативные значения ПДК в несколько раз, что приводит к загрязнению окружающей среды не только в месте проведения строительных или ремонтных работ, но и в зонах проживания населения. Для рабочих, находящихся в зоне распространения мелкодисперсной пыли при выполнении земляных работ, существует высокий риск возникновения профессиональных заболеваний дыхательной системы. Мелкодисперсные частицы пыли, попадая в органы дыхания человека, могут вызвать различные пульмонологические заболевания. Кроме этого, в настоящее время при осуществлении земляных работ характер движения частиц мелкой фракции менее 2,5 мкм (PM_{2,5}) и менее 10 мкм (PM₁₀) в условиях города является недостаточно изученными.

При проведении расчетов по методике МРР-2017 в программе УПРЗА «Эколог» источник загрязнения работающего одноковшового экскаватора задается как точечный неорганизованный. Однако следует отметить, что рабочий орган одноковшового экскаватора циклически перемещается во времени с изменяющимися координатами в пространстве, т. е. образуется сложный виртуальный источник загрязнения. Исследований, посвященных заданию виртуальных поверхностей, проведено недостаточно. Поэтому актуальным вопросом, особенно в условиях значительного увеличения ежегодных объемов земляных работ, является разработка экологически безопасных технических и технологических решений для снижения пылевого загрязнения близлежащей к месту проведения работ территории с учетом расположения поверхностей виртуальных источников.

Диссертация выполнена на основе тематического плана научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Волгоградского государственного технического университета».

Степень разработанности темы исследования. Исследованиями распространения мелкодисперсных частиц в атмосфере городов занимались следующие отечественные ученые: Азаров В.Н., Бакаева Н.Д., Беспалов В. И., Богуславский Е.И., Боровков Д.П., Ветрова О.А., Гаспарьян Н.А., Головина Е.И., Гурова О.С., Данелянц Д.С., Желтобрюхов В.Ф., Калюжина Е.А., Ковшов С.В., Кузьмичев А.А., Ложкина О.В., Лопатина Т.Н., Лупиногин В.В., Магомадов И.З., Май И.В., Манжилевская С.Е., Мензелинцева Н.В., Новиков В.С., Панков А.А., Савина А.М., Сергина Н.М., Сысоева Е.В., Тertiшников И.В., Трохимчук К.А., Тунакова Ю.А., Уляшева Е.Т., Фукс Н.А., Шагидуллин А.Р. и др. авторы. Исследованиями загрязнения воздушной среды при выполнении земляных работ занимались и иностранные ученые: М. Ishizuka,

M. Mikami, J. Leys, Dale A. Gillette, Weinan Chen, L.I. Xiaolan, Zhang Hongsheng, Nitzan Swet, Tov Elperin, Jasper F. Kok, Raleigh L. Martin, Nicholas P. Webb, Sandra L. LeGrand, Brad F. Cooper, Erich M. Courtright, Brandon L. Edwards, Rende Wang, Qing Li, Na Zhou, Chunping Chang, Yaping Shao, Saeed Abolhasani, H. Christopher Frey, Kangwook Kim, William Rasdorf, Shih-Hao Pang.

Однако характер пылевыведений и распространения мелкодисперсных частиц, дисперсный и химический состав пыли при прокладке и ремонте инженерных сетей являются недостаточно изученными.

Цель работы – снижение пылевого загрязнения воздушной среды при земляных работах по прокладке инженерных сетей за счет разработки защитных технических решений, а также совершенствования прогноза величины выбросов взвешенных частиц в атмосферный воздух на основе определения аэродинамических характеристик пыли и построения поверхностей виртуальных источников загрязнения.

Поставленная цель предопределила постановку следующих **задач исследования**:

- анализ опыта исследований особенностей пылевыведений при работе землеройной техники, а также известных технических решений и методов борьбы с распространением пыли при прокладке инженерных сетей;

- исследования с учетом влажности дисперсного состава пыли песка и глины, содержащейся в выбросах в атмосферный воздух при земляных работах;

- разработка методики построения непрерывно дифференцируемой интегральной функции распределения объемов частиц по эквивалентным диаметрам в виде пятизвенного сплайна и необходимые программы для ЭВМ;

- исследования аэродинамических характеристик частиц пыли, поступающей в атмосферный воздух при прокладке траншей и отсыпке отвалов, требуемых для расчета максимальных разовых и валовых выбросов, выявления закономерностей рассеивания и решения других задач экологической безопасности;

- обоснование выбора геометрической конфигурации виртуальных неорганизованных источников пылевыведения (разработка траншеи, отвал грунта при его хранении) на примере прокладки инженерных сетей и разработка методики их построения;

- экспериментальное определение параметров пылевыведения при прокладке инженерных сетей как основы для оценки валового и максимального разового значений выбросов от виртуальных источников;

- разработка и апробация технических решения для снижения загрязнения атмосферного воздуха при прокладке инженерных сетей подземного исполнения в городских и трассовых условиях, а также по результатам проведенных исследований разработка рекомендаций по организации строительного производства для снижения пылевого загрязнения окружающей среды при осуществлении земляных работ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- на основании результатов натурных и лабораторных исследований доказано, что закон распределения частиц аэрозоля в месте работы экскаватора – усеченный логарифмически–нормальный, где для частиц с эквивалентным диаметром в диапазоне от 2,5 до 8 мкм, выполняется закон Колмогорова;

- впервые показано, что непрерывно дифференцируемую интегральную функцию распределения частиц земляной пыли в вероятностно-логарифмической сетке можно аппроксимировать пятизвенным сплайном, состоящим из гиперболы, параболы, прямой, параболы и гиперболы, и разработан алгоритм расчета, что позволило уточнить методику определения начальных условий при расчете рассеивания и аэродинамических характеристик взвешенных частиц, образующихся при выполнении земляных работ;

- установлены экспериментальные коэффициенты связи, позволяющие при изменении влажности грунта в пределах от 0,2 до 2,5 % корректировать интегральную функцию распределения дисперсного состава пыли и расчет ее максимального разового выброса в атмосферный воздух при земляных работах;

- впервые на основании экспериментально уточненных аэродинамических характеристик пыли и результатов натурных исследований получены исходные данные, позволяющие определить граничные и начальные условия для решения уравнений движения частиц аэрозоля, выделяющегося при земляных работах;

- впервые предложена методика построения поверхностей виртуальных источников выбросов взвешенных частиц в атмосферный воздух на примере цикличной работы одноковшового экскаватора, что позволило рассчитать загрязнение воздушной среды на расстоянии от объекта.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- уточнена методика расчета валовых выбросов взвешенных частиц при работе одноковшового экскаватора в зависимости от времени года;

- разработан алгоритм и программа расчета интегральной функции распределения дисперсного состава пыли песчаных и глинистых грунтов при земляных работах (Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025662914);

- исследован дисперсный и химический состав пыли микроскопическим методом с помощью современного высокоточного оборудования с использованием программ SPOTEXPLORER 2018, DustMatrix, DustMatrix2.0;

- доказано, что интегральные функции распределения объемов частиц по эквивалентным диаметрам для пыли карьерного и речного песка различны (например: среднее значение медианного диаметра пыли карьерного песка составляет 30 мкм, речного – 80 мкм; доля частиц PM10 для карьерного песка находится в диапазоне от 0,8 до 5 %, для речного - от 0,01 до 0,02 %);

- предложены новые экологически безопасные технические решения, позволяющие снизить количество вредных веществ, выделяемых в атмосферный воздух при прокладке сетей, которые внедрены на предприятиях

г. Волгограда: аспирационные пылеулавливающие установки; устройство для пылеподавления, смонтированное на отвале бульдозера; специальное комбинированное укрытие; система для пылеподавления на базе одноковшового экскаватора. Новизна предложенных разработок подтверждена патентами РФ;

- предлагаемые организационно-технологические решения по снижению выбросов в атмосферный воздух использованы при проектировании разделов производства работ (ППР), проектов организации строительства (ПОС), оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), перечня мероприятий по охране окружающей среды (ПМООС) с целью снижения вредного воздействия на здоровье работников на строительных площадках;

- материалы диссертационной работы использованы кафедрами «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», «Технологии строительного производства» Волгоградского государственного технического университета при ведении учебного процесса у студентов, обучающихся по направлениям 20.03.01 «Техносферная безопасность», 20.04.01 «Техносферная безопасность», 08.03.01 «Строительство», 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Методология и методы исследования: анализ и обобщение известных научно-технических результатов; проведение экспериментальных исследований в лабораторных и натурных условиях с применением методик, утвержденных межгосударственными стандартами и национальными стандартами РФ, с использованием современного поверенного оборудования; обработка экспериментальных данных с применением компьютерных программ, зарегистрированных в установленном порядке; сопоставление полученных результатов с данными других авторов.

Положения, выносимые на защиту:

- положение о том, что результаты проведенных автором экспериментальных исследований закономерностей распределения концентрации аэрозоля в зоне взмета пыли при работе экскаватора обеспечивают возможность построения поверхностей виртуальных источников, задания на них начальных условий уравнений движения с последующим использованием программных средств по действующим методикам расчетов рассеивания;

- положение о том, что при землеройных работах закон распределения частиц по дисперсному составу для пыли с размерами менее 10 мкм – логарифмически–нормальный (Колмогорова А.Н.), для пыли в месте расположения экскаватора – усеченный логарифмически–нормальный;

- положение о том, что предложенная автором методика построения поверхности виртуальных источников при работе одноковшового экскаватора и определения начальных условий обеспечивает необходимую точность 25 % при расчете рассеивания взвешенных частиц в атмосферном воздухе по действующим нормативным документам;

- положение о том, что при изменении влажности грунта в пределах от 0,2 до 2,5 % следует корректировать интегральные функции распределения для

частиц пыли на источнике пылевыведения, и, следовательно, корректировать расчеты валового выброса при земляных работах;

- положение о том, что разработанные с целью снижения загрязнения воздушной среды технологические и технические решения позволяют снизить запыленность воздуха в зонах жилой застройки при ведении земляных работ для прокладки (ремонта) инженерных сетей.

Степень достоверности обоснована использованием теоретического анализа, методов математической статистики, сравнением результатов экспериментальных исследований, как в лабораторных, так и натурных условиях, полученных с использованием современного высокоточного оборудования, с результатами теоретических обобщений и с полученными ранее данными других исследователей.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались и получили одобрение на 15 международных, 3 Всероссийских и 4 региональных конференциях. Наиболее значимые из них: III научно-техническая конференция молодых исследователей «Современные вопросы безопасности» (Волгоград, 2025); II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023) (Узбекистан, Карши, 2023); XXIII, XXV, XXVI, XXVII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 2018, 2020, 2021, 2022); International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologie and Equipment 2018 (ICMTMTE 2017, 2018) (Севастополь, 2017, 2018); International science and technology conference «Earth Science» (Far Ist Con) (Владивосток, 2018, 2019); «International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety» (ICCATS-2018, ICCATS-2019) (Челябинск, 2018, 2019); научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса» (Волгоград, 2020).

Публикации. По материалам диссертации соискателем опубликованы 48 печатных работы, из них: 12 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК России (в том числе: 2 статьи в изданиях RSCI, 3 – в изданиях по научной специальности 2.10.2 Экологическая безопасность, 9 – в изданиях по научной специальности 2.1.10 (05.23.19) Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства). В наукометрических базах Scopus и Web of Science зарегистрированы 7 публикаций, получены 9 патентов РФ и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, четыре главы, общие выводы, список литературы и приложения. Общий объем диссертационной работы 164 страницы, включая список литературы из 116 наименований, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена цель работы, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности, а также предоставлены сведения об апробации и практическом внедрении результатов проведенных исследований.

В первой главе показано, что ежегодный рост объемов строительства и инженерных сетей приводит к усилению отрицательного воздействия на окружающую среду. Наиболее интенсивными источниками загрязнения окружающей среды являются следующие технологические процессы - разработка грунта, перемещение грунта, отсыпка отвалов, погрузка грунта в автосамосвалы и т.п.

Результаты проведенного анализа существующих решений показали, что при прокладке инженерных сетей в условиях городской застройки необходимо использование экологически безопасных технических решений, устройств обеспыливания и пылеподавления.

Вторая глава посвящена исследованиям свойств пыли, поступающей в атмосферный воздух при земляных работах для прокладки и ремонта городских инженерных коммуникаций.

Исследования дисперсного состава пыли выполнены микроскопическим методом по ГОСТ Р 56929, ГОСТ Р 59667с применением программы SPOTEXPLORER 2018. Результаты оценки фракционного состава пыли песка и глины показаны на рисунке 1.

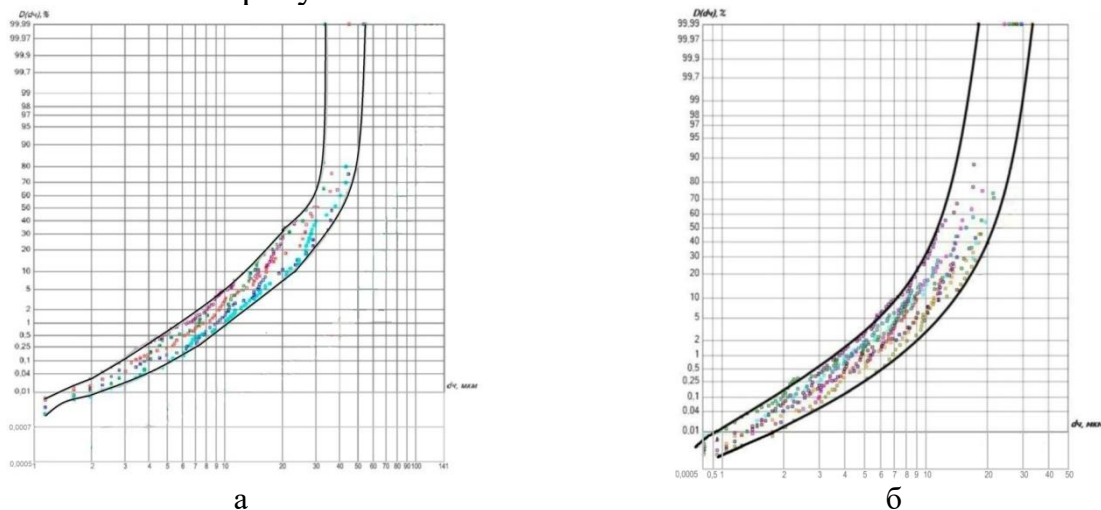


Рисунок 1 - Диапазоны изменения интегральных функций распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам:
а - пыли мелкого песка; б – пыли глины

В реальных условиях даже за незначительный период ремонта и ликвидации аварии на подземной инженерной сети, может изменяться влажность грунта на разной глубине подземной выработки. Поэтому

полученные значения функции прохода представлены диапазоном измерений (рисунок 1).

Проведенные многочисленные натурные исследования не позволили найти одну параметрическую функцию от влажности и диаметра, описывающую интегральную функцию распределения. Во многих задачах, связанных с анализом дисперсного состава пыли, важно, чтобы описывающая его функция была непрерывна и дифференцируема. Поэтому она была построена на основе сплайнов. На рисунке 2 в вероятностно-логарифмической сетке представлена интегральная функция для пыли, отобранной в атмосферном воздухе при проведении земляных работ, построенная по результатам исследований и аппроксимированная на различных участках пятью функциями – гипербола, парабола, линейная, парабола, гипербола. На осях $x = \lg z$ участки (z_i) могут быть представлены в виде $[z_0, z_1]$, $[z_1, z_2]$, $[z_2, z_3]$, $[z_3, z_4]$, $[z_4, z_{max}]$.

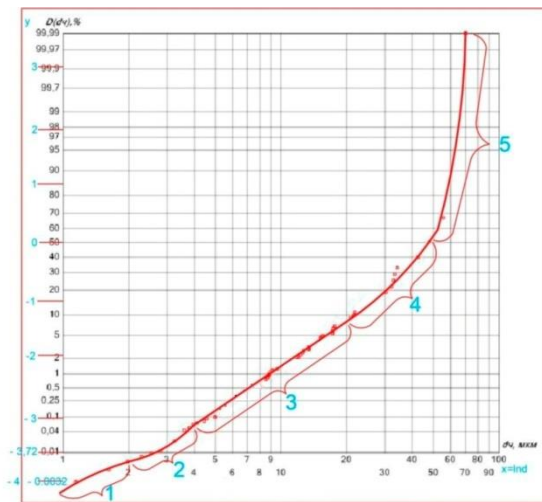


Рисунок 2 - Аппроксимация интегральной функции прохода пятью функциями:

- 1 – гипербола; 2 – парабола;
3 – линейная; 4 – парабола;
5 – гипербола

Общая схема решения задачи построения непрерывно дифференцируемой интегральной функции распределения (аппроксимации функции прохода) представлена на рисунке 3. Задача аппроксимации экспериментальных значений (x_j, y_j) состоит в нахождении функции $Y(x)$ по выбранным пяти «кусочным» функциям, где $Y(x)$ – непрерывная и непрерывно дифференцируемая. Характеристики функций, аппроксимирующих интегральную функцию распределения, приведены в таблице 1.

Таким образом, есть система из N уравнений, составленных на основании

Т а б л и ц а 1

i	Область определения	Вид линии	Формула
1	при $z_{min} < x \leq z_1$	гипербола	$y = \frac{f}{1+x} + g$
2	при $z_1 < x \leq z_2$	парабола	$y = ax^2 + bx + c$
3	при $z_2 < x \leq z_3$	прямая	$y = kx + p$
4	при $z_3 < x \leq z_4$	парабола	$y = mx^2 + nx + s$
5	при $z_4 < x \leq z_{max}$	гипербола	$y = \frac{h}{x - z_{max}} + l$
Примечание. $f, k, p, a, b, m, n, h, g, c, s, l$ - неизвестные параметры; i - номер участка, j - сквозной номер замера			

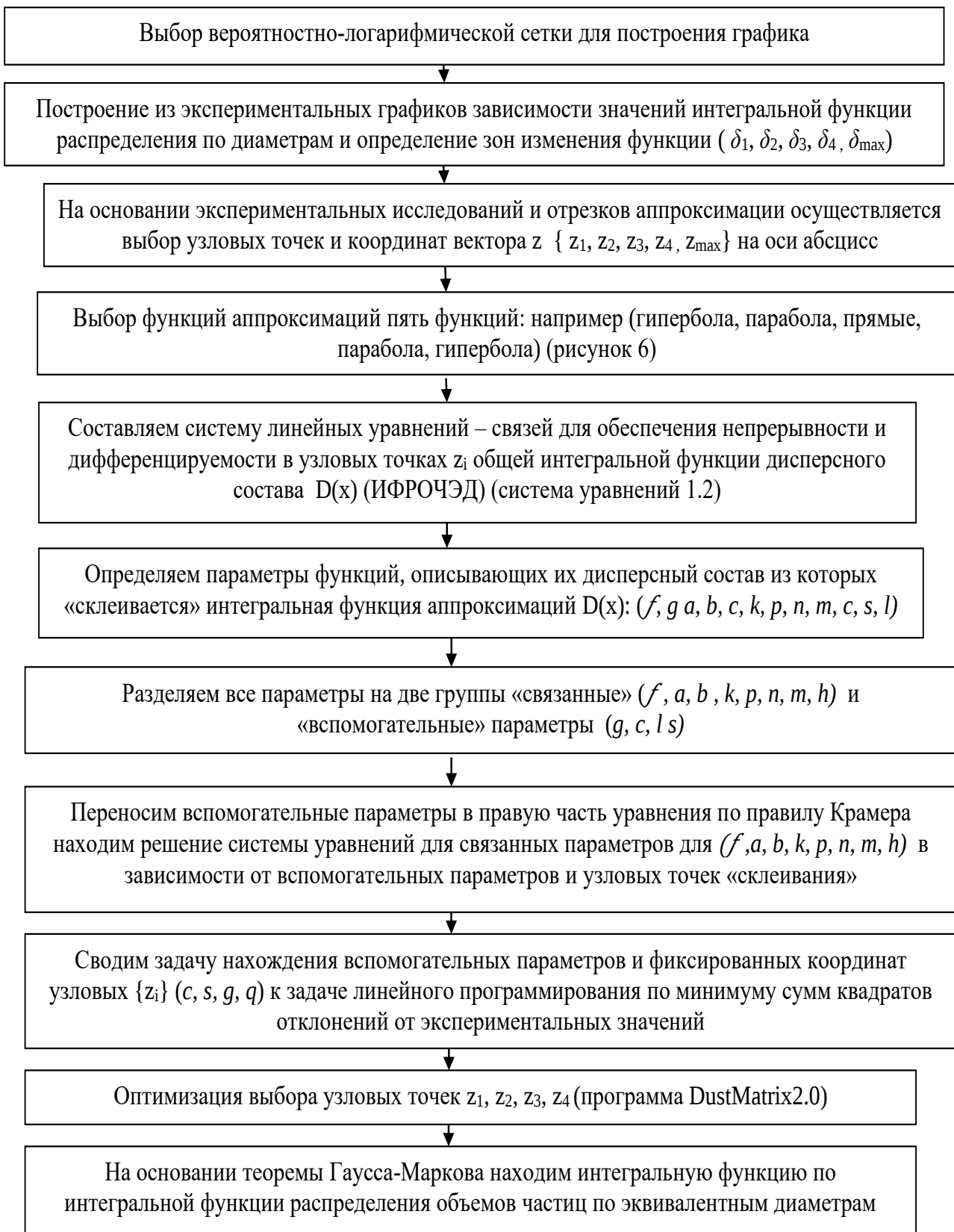
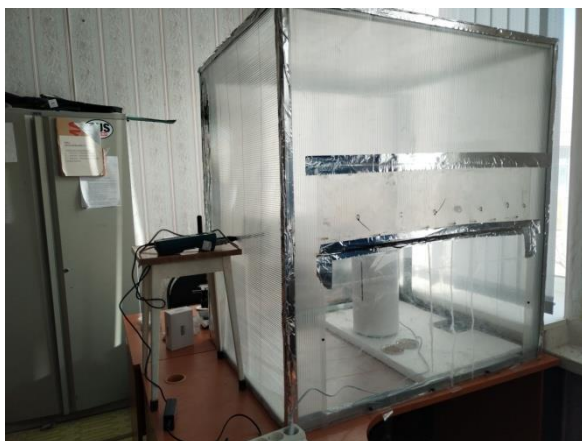


Рисунок 3 – Общая схема построения непрерывно дифференцируемой функции распределения объема частиц по эквивалентным диаметрам на основании функции прохода

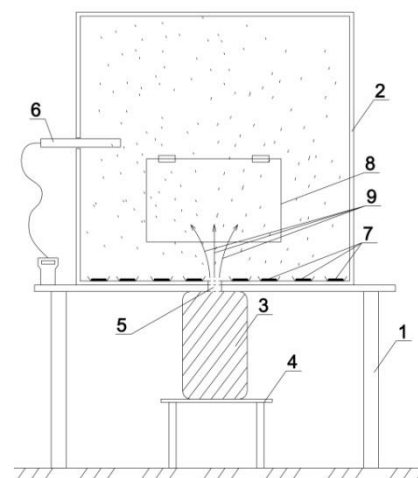
экспериментальных значений, x_j – соответствующие элементы вектор-столбца X экспериментальных значений, $100 < N \leq 1500$) с учетом линейных связей между двумя векторами, выраженными через вспомогательные параметры g, c, s, l . Тогда задача сводится к нахождению элементов вектора v из четырех вспомогательных параметров. Теперь задача аппроксимации состоит в определении параметров, характеризующих аппроксимирующие функции – гиперболу, параболу, прямую, параболу и гиперболу. Таким образом, требуется найти 12 параметров – восемь коэффициентов (f, a, b, k, p, m, n, h) (вектор T) по требованию дифференцируемости и четыре (g, c, s, l) (вектор v) на основании минимума суммы ε_{ji}^2 .

Нахождение вектора T и вектора v позволяет вычислить все 12 коэффициентов из интегральной функции распределения $Y = D(x)$. Для вычисления элементарных функций-аппроксимаций для интегральной функции распределения объемов пыли по эквивалентным диаметрам разработана программа *DustMatrix*.

Экспериментальные исследования влияния влажности грунта на дисперсный состав пыли на примере песка и глины проведены в лабораторных условиях на установке, общий вид и схема которой показаны на рисунке 4.



а



б

Рисунок 4 – Экспериментальная установка для исследования влияния влажности грунта на дисперсный состав пыли:

а – общий вид; б – схема.

1 – стол; 2 – куб; 3 – увлажнитель воздуха *Xiaomi*; 4 – подставка;

5 – отверстие, выполненное через столешницу стола и нижнюю грань куба; 6 – метеометр МЭС-200А; 7 – лабораторная тарелочка с образцом грунта; 8 – окно для выполнения манипуляций внутри куба

На основании результатов экспериментальных исследований получены адекватные уравнения регрессии для интегральных функций распределения (адекватность модели проверялась по критерию Фишера) объемов частиц в зависимости от эквивалентного диаметра d для значений влажности грунта ϕ в пределах от 0,1 до 3 % и построены графики интегральных функций

распределения объемов частиц по эквивалентным диаметрам частиц песка и глины при различной влажности грунта (рисунок 5).

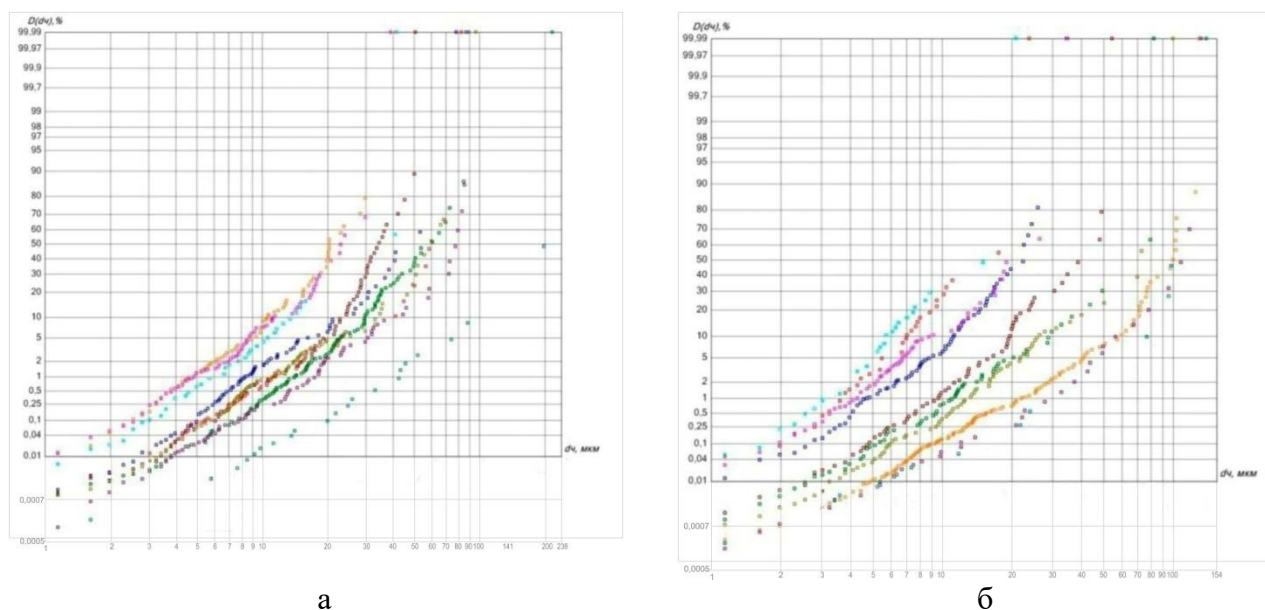


Рисунок 5 – Функции распределения прохода по эквивалентным диаметрам частиц песка и глины при разной влажности:

а - песка 0,1%, 0,15%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 0,85%, 1,25%, 1,5%,
 - 1,7%, - 2,5%
 б – глины 0,25%, 0,35%, 0,5%, 0,6%, 1 %, 0,6%, 1,5 %, 2,25%,
 - 2,5 %, - 3 %

На основе полученных для пыли песка и глины уравнений регрессии определены коэффициенты $k(\delta, \varphi)$ (таблица 2), позволяющие корректировать интегральную функцию распределения при влажности материала, отличной от 0,25 %, по выражению (1).

Т а б л и ц а 2 - Коэффициенты для корректировки интегральной функции распределения при разной влажности материала (на примере песка и глины)

d_i , мкм	Коэффициенты перехода при влажности песка φ , %				Коэффициенты перехода при влажности глины φ , %			
	0,5	1	1,5	2,5	0,5	1	1,5	2,5
2,5	0,121	0,015	0,010	0,010	0,424	0,029	0,023	0,0015
5	0,148	0,115	0,041	0,002	0,3702	0,031	0,019	0,001
8	0,48	0,223	0,055	0,003	0,411	0,032	0,016	0,0015
10	0,438	0,2	0,074	0,0035	0,359	0,042	0,025	0,0018
20	0,219	0,184	0,107	0,003	0,81	0,2	0,074	0,0038
30	0,459	0,255	0,168	0,017	0,752	0,298	0,1199	0,0092
40	0,544	0,448	0,312	0,005	0,99	0,512	0,2070	0,0282
50	0,56	0,391	0,305	0,024	1,0	0,801	0,31	0,07342

$$D(\delta, \varphi) = k(\delta, \varphi)D(\delta, 0,25) \quad (1)$$

Таким образом:

$$\begin{aligned} & \text{- для песка} & D(\delta, \varphi) &= k_{\text{п}}(\delta, \varphi) D_{\text{п}}(\delta, 0,25), & (2) \\ & \text{- для глины} & D(\delta, \varphi) &= k_{\text{гл}}(\delta, \varphi) D_{\text{гл}}(\delta, 0,25), & (3) \end{aligned}$$

где $D_{\text{п}}$ – доля пылевых частиц песка с диаметром δ при влажности материала 0,25 %; $D_{\text{гл}}$ – доля пылевых частиц глины с диаметром δ при влажности материала 0,25 %.

Изучение формы и химического состава частиц песка и глины проводилось с помощью микроскопа *Versa 3D DualBeam*. Пробы материалов отобраны на площадке проведения ремонта подземного трубопровода по ул. им. 51-й Гвардейской Дивизии (г. Волгоград) в двух точках на расстоянии 20 м друг от друга, по 10 проб в каждой точке. На рисунке 6 представлены микрофотографии, полученные при анализе проб песка и глины. Данные о химическом составе образцов, полученные с помощью микрорентгеноспектрального анализа, приведены на рисунке 7.

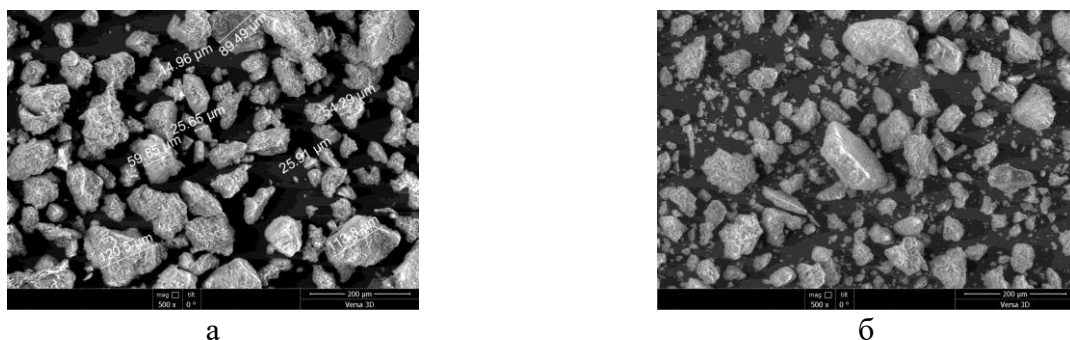


Рисунок 6 – Микрофотографии частиц, полученные при анализе проб:
а – глины; б – песка



Рисунок 7 – Результаты анализа химического состава образцов:
а – песка; б - глины

Очевидно, что частицы обоих материалов имеют сложную неправильную форму. При этом частицы песка не имеют каверн, их поверхность более гладкая. Также при исследованиях выявлено наличие металлических включений в составе образцов грунта, что наглядно показывает наличие окалины, металлических частиц, образующихся при обработке металла и при сварочных работах.

Третья глава посвящена исследованиям процессов распространения пылевых частиц в городской воздушной среде при работе одноковшового экскаватора.

Для оценки влияния работы одноковшового экскаватора на качество воздушной среды были проведены натурные измерения в разных районах г. Волгограда. Задачей исследований было определение параметров виртуальных источников и проверки закономерностей рассеивания.

Рабочий цикл экскаватора состоит из шести технологических операций, пять из которых сопровождаются выделениями пыли. В целом продолжительность рабочего цикла экскаватора по времени можно разделить на три этапа, каждому из которых будет соответствовать своя «виртуальная» поверхность пылевых выделений. Первый этап включает резание грунта и наполнение ковша, по продолжительности составляет в среднем 8 секунд. Этому этапу соответствует «виртуальная поверхность наполнения ковша». Второй этап - «виртуальная поверхность перемещения ковша» соответствует перемещению наполненного ковша и возврату опорожненного. Третий этап - «виртуальная поверхность выгрузки грунта» относится к опрокидыванию ковша и высыпанию грунта в отвал.

По результатам измерений в натурных условиях и визуальных наблюдений установлено, что пыление на каждом из перечисленных этапов можно рассматривать как объемный источник, т.е. источник, формирующийся из выбросов загрязняющих веществ в виде локального пространственного образования с выраженной границей.

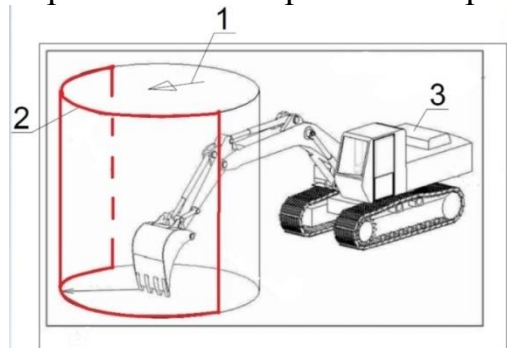


Рисунок 8 – «Виртуальная поверхность наполнения ковша».

1 – направление ветра;

2 – поверхность полуцилиндра;

3 – одноковшовый экскаватор
копания плюс 4 м.

По данным натурных исследований установлено, что при вместимости ковша от 0,15 до 2 м³ за «виртуальную поверхность наполнения ковша» наиболее целесообразно принять сегмент виртуальной поверхности, ограниченный поверхностью полуцилиндра (рисунок 8). При этом для ковшей с емкостью от 0,15 до 0,8 м³ радиус поверхности виртуального источника будет равен сумме оптимального радиуса копания плюс 3 м, для ковшей с вместимостью от 0,8 до 2 м³ – равен сумме оптимального радиуса

При повороте ковша экскаватора радиус виртуальной поверхности равен радиусу поворота ковша плюс 3 - 4 м для учета возникающего взмета частиц. Оптимальный радиус копания и радиус поворота ковша принимаются по техническим характеристикам экскаватора. Сегмент виртуальной поверхности должен описывать дугу в зависимости от направления ветра (рисунок 8, 9).

По результатам измерений концентраций пыли в атмосферном воздухе, выполненных в условиях строительной площадки при разгрузке ковша экскаватора, установлено, что концентрация на виртуальной поверхности

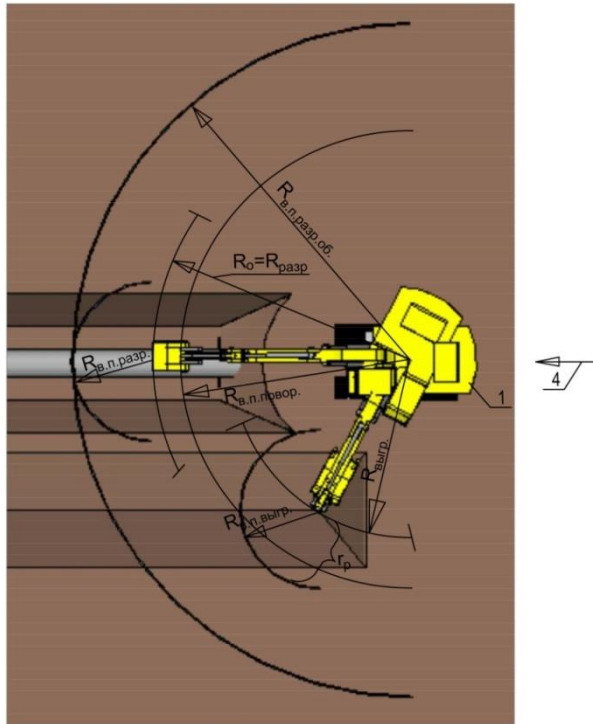


Рисунок 9 - Схема расположения виртуальных поверхностей (ВП) при вскрытии траншеи.

1 – отвал грунта; 2 – траншея; 3 – вскрываемый трубопровод; 4 – направление ветра;

$R_{вп.разр.}$ – радиус ВП при разработке грунта; R_o – оптимальный радиус копания;

r_p – расстояние от плоскости, описываемой стрелой экскаватора, до виртуальной плоскости;

$R_{вп.повор.}$ – радиус ВП при повороте ковша экскаватора; $R_{выгр.}$ – радиус движения заполненного ковша и выгрузки ковша; $R_{повор.}$ – радиус поворота пустого ковша экскаватора; $R_{вп.разр.об}$ – радиус общей ВП, образующейся при вскрытии траншеи

является функцией только высоты расположения точки - $C(h)$. Анализ распределения значений концентраций по радиусу виртуальной поверхности показал, что эти значения можно считать постоянными для каждой из высот.

Функцию $C(h)$ для одноковшовых экскаваторов с большим ковшом, например, вместимостью 1 м^3 , можно представить в виде (4), для одноковшовых экскаваторов с малой емкостью ковша, например, $0,15 \text{ м}^3$, - в виде (5):

$$C(h) = C_{max} \left(1 - \left(\frac{h}{H} \right)^{2n} \right) \quad (4); \quad C(h) = C_{max} \left(1 - \frac{h}{H} \right)^{2m} \quad (5)$$

где n, m – коэффициенты, определяемые экспериментально; H – высота поверхности виртуального источника, зависящая от высоты выгрузки грунта из ковша; h – высота точки на виртуальной поверхности.

Тогда при выгрузке грунта из ковша максимальный разовый выброс как функция от высоты составит: для ковшей с большой емкостью - (6), для ковшей с малой емкостью – (7).

$$G = \frac{4n}{2n+1} VRC_{max} H \quad (6), \quad G = \frac{2m}{2m+1} VRC_{max} H \quad (7)$$

Так как время наполнения ковша составляет не более 20 % от продолжительности цикла, максимальный разовый выброс за эти 4 – 5 секунд с

высокой степенью точности описывается случайной функцией, среднее значение которой не превосходит 5% от величины выброса на этапе броска (выгрузки грунта из ковша). При переносе грунта и возврате ковша наблюдалась аналогичная картина. При этом максимальный разовый выброс не превышает 10%. Поэтому предлагается в расчетах рассеивания при известной величине выбросов при выгрузке грунта увеличивать ее на 15% для учета операций переноса ковша и резания грунта. Максимальный разовый выброс определяется по выражению

$$G = \frac{1}{100} \int_0^{\infty} \int_S v C(s) \frac{\partial D(s, \delta)}{\partial \delta} dS d\delta \quad (8)$$

где v – скорость ветра; D – интегральная функция распределения объема частиц по эквивалентным диаметрам в точке виртуальной поверхности s , %; δ – диаметр частиц; S – площадь виртуальной поверхности

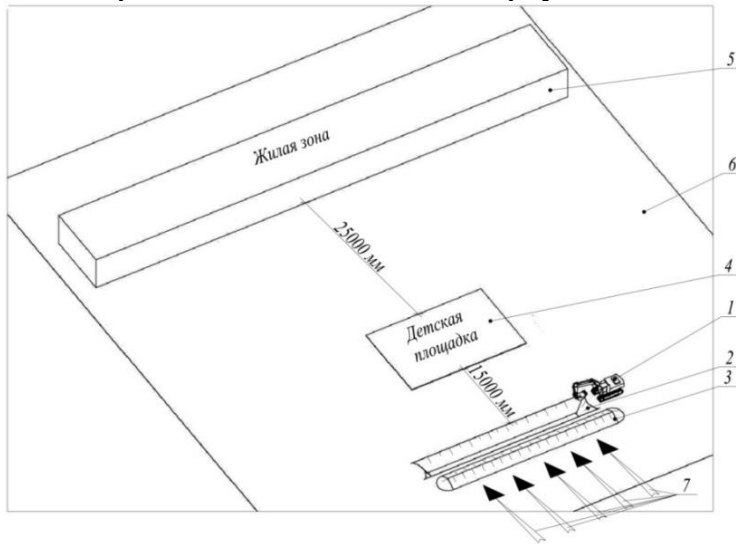


Рисунок 10 - Схема для расчета рассеивания.

- 1 – одноковшовый экскаватор; 2 – траншея; 3 – отвал грунта;
4 – детская площадка, расположенная вблизи места выполнения земляных работ; 5 – существующее одноэтажное здание; 6 – поверхность земли;
7 – направление ветра (перпендикулярно к оси траншеи и боковой грани отвала)

стандартный по МРР – 2017 и предлагаемый, учитывающий виртуальную поверхность источника пыления и полученные данные о скоростях оседания частиц. При этом использована расчетная схема (рисунок 10), разработанная с учетом реальной обстановки по ул. Грушевской в Ворошиловском районе г. Волгограда.

Был проведен вычислительный эксперимент для определения концентрации пыли в атмосферном воздухе (в долях ПДК) при земляных работах на расстоянии 3 м (C_3), 7,5 м ($C_{7,5}$), 15 м (C_{15}), 30 м (C_{30}) при изменении трех параметров – температура воздуха (t , °C), скорость ветра (v , м/с), величина максимального разового выброса (G , г/с). Указанные расстояния

Для расчета рассеивания взвешенных веществ при использовании предлагаемых поверхностей виртуальных источников использован программный комплекс УПРЗА «Эколог», реализующий положения МРР – 2017. Расчет выполнен с учетом результатов исследований дисперсного состава пыли, т.к. в расчетную формулу для определения максимальной приземной концентрации входит коэффициент F , значения которого принимаются в зависимости от скорости оседания частиц. Выполнено два варианта расчета -

выбраны из соображений того, что земляные работы проводятся в жилой зоне в стесненных условиях и, как правило, не далее, чем 30 метров от жилых и общественных зданий. Принятые параметры выбраны по результатам расчета пыления от виртуального источника. Диапазоны изменения параметров, принятые при вычислительном эксперименте, соответствуют условиям выполнения натурных исследований (таблица 3).

Т а б л и ц а 3 – Значения принятых для расчетов параметров

Параметр	Половина интервала изменения	Значения параметров		
		минимальное	максимальное	среднее
Для ковшей большой вместимости				
$t, ^\circ\text{C}$	19	- 9	29	10
$v, \text{м/с}$	4,25	0,5	9	4,75
$G, \text{г/с}$	0,6	0,5	1,5	0,9
Для малых ковшей				
$t, ^\circ\text{C}$	19	- 9	29	10
$v, \text{м/с}$	4,25	0,5	9	4,75
$G, \text{г/с}$	0,21	0,08	0,5	0,29

Некоторые результаты выполненных расчетов в качестве примера приведены на рисунке 11. В таблице 4 показано сравнение результатов расчетов по МРР – 2017 и по предлагаемому варианту с результатами измерений в натурных условиях.

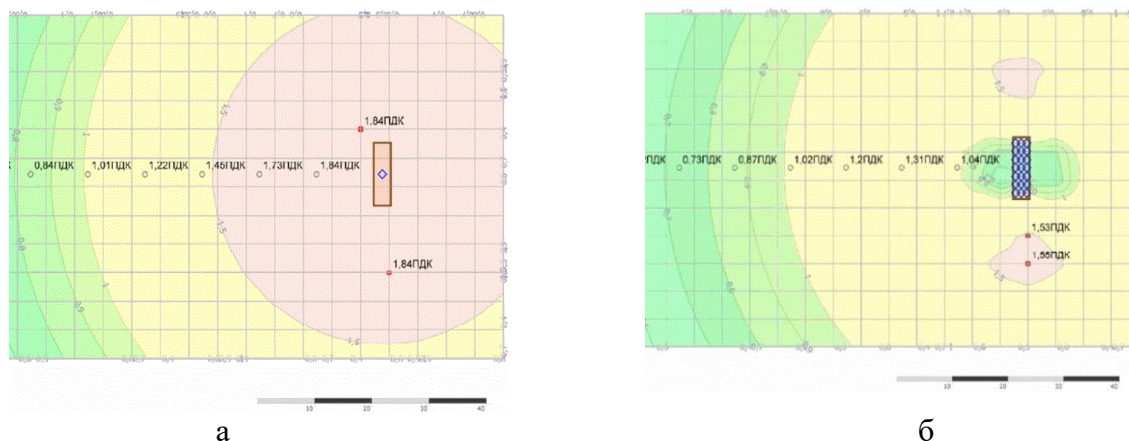


Рисунок 11 – Результаты расчетов концентраций пыли в атмосферном воздухе:
а – по МРР – 2017; б – по предлагаемому варианту

Расхождение результатов расчетов по предлагаемому варианту с результатами расчетов по МРР – 2017 составляет 17,2 %, с результатами инструментальных измерений – 5,3 %, что соответствует установленным требованиям.

В четвертой главе представлены результаты практической реализации материалов диссертационного исследования.

Т а б л и ц а 4 – Сопоставление результатов расчетов и измерений в натурных условиях

Способ определения	Концентрация взвешенных веществ на расстоянии 30 м		Расхождение, с предлагаемым вариантом, %
	мг/м ³	в долях ПДК	
Расчет по МРР - 2017	0,725	1,45	17,2
Расчет по предлагаемому варианту	0,6	1,2	0
Измерения в натурных условиях	0,571	1,14	5,3

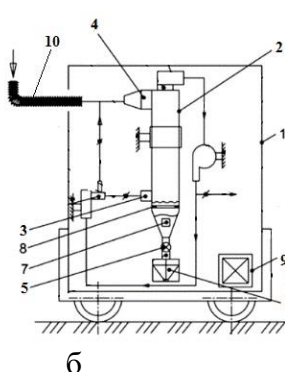
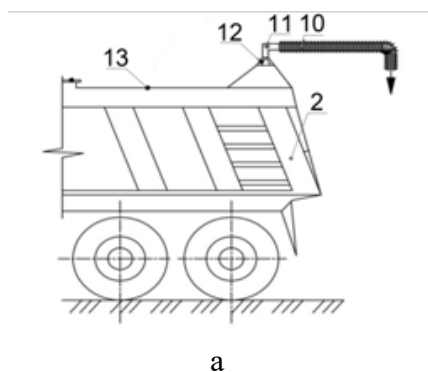


Рисунок 12 – Аспирационная пылеулавливающая установка (патент РФ 2788387):

а, б – схема; в – общий вид.

- 1 – корпус; 2 – вихревой инерционный пылеуловитель; 3 – нижний ввод запыленного воздуха; 4 – верхний ввод запыленного воздуха; 5 – шлюзовой затвор; 6 – пыленакопительный бункер; 7 – вибратор; 8 – резиновая прокладка; 9 – генератор; 10 – местный отсос

Разработанная аспирационная пылеулавливающая установка (рисунок 12) прошла опытно-промышленные испытания на базе ООО «ИНВЕСТГРАЖДАНСТРОЙ» при проведении земляных работ на строительной площадке по ул. им. Д.И. Менделеева (г. Волгоград) в период с 01.07.2023 г. по 05.07.2023 г. Объем ковша одноковшового экскаватора 0,65 м³, средняя высота выгрузки грунта из экскаватора 1,5 м. Установка работала в течение пяти смен, аварийных остановок не было. Предотвращенный экологический ущерб составил 22 тыс. руб./год.

В компании ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» апробированы мероприятия по минимизации воздействия на окружающую среду и снижению запыленности воздуха на границе санитарно-защитной зоны предприятия. Предложенные мероприятия были использованы при осуществлении:

- вскрытия участка трубопровода длиной 50 м (глубина траншеи 1,5 м) одноковшовым экскаватором с емкостью ковша 1 м³ с применением системы распыления воды (рисунок 13);

- срезки растительного слоя грунта на земельном участке общей площадью 1250 м² бульдозером с установкой на его отвале специального устройства для пылеподавления при волочении призмы грунта (рисунок 14);
- обратной засыпки траншеи с помощью специального комбинированного укрытия, состоящего из сетки, геотекстиля и биоразлагаемого полиэтилена (рисунок 15).

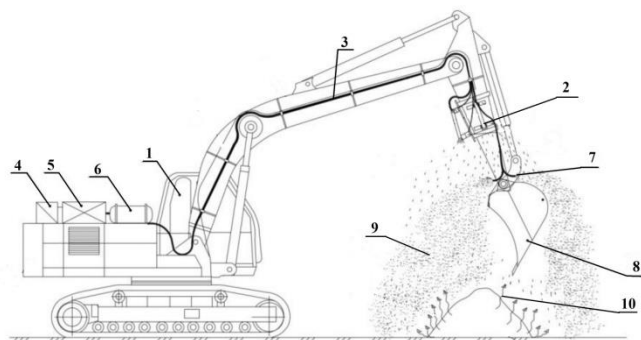


Рисунок 13—Схема распылительной системы.
1 – одноковшовый экскаватор; 2 – распылители;
3 – линия для подачи жидкости;
4 – электрогенератор; 5 – насос; 6 – емкость для жидкости; 7 – форсунки; 8 – ковш экскаватора;
9 – распыляемая жидкость; 10 – направление взмета частиц при выгрузке грунта

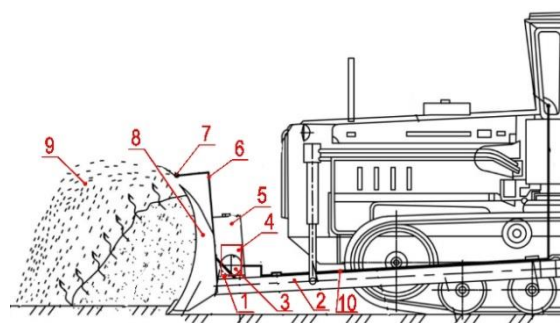


Рисунок 14—Схема предлагаемого устройства для пылеподавления.
1 – площадка; 2 – брус;
3 – электродвигатель; 4 – насос; 5 – бак;
6 – Г-образные кронштейны;
7 – форсунки; 8 – отвал; 9 – пылевое облако; 10 – электрическая цепь

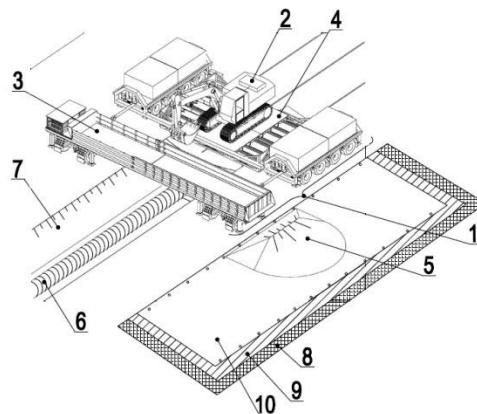


Рисунок 15 – Схема для иллюстрации использования предложенного комбинированного укрытия.

- 1 – комплекс для монтажа трубопровода; 2 – одноковшовый экскаватор;
3 – кузов; 4 – платформа; 5 – отвал; 6 – трубопровод; 7 – траншея;
8 – сетка; 9 – биоразлагаемый материал; 10 – геотекстиль

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов выполненных исследований можно сделать следующие **основные выводы по работе**:

1 На основании анализа известных технических решений и методов борьбы с распространением пыли при прокладке инженерных сетей сделан

вывод о недостаточности существующих исходных данных для расчета рассеивания выброса взвешенных частиц в атмосферу: концентрации и дисперсный состав пыли, вид виртуальных источников пылевыделения.

2 Исследование дисперсного состава пыли в месте проведения работ показало, что интегральная функция распределения объемов частиц от эквивалентного диаметра подчиняется закону Колмогорова лишь на центральном участке, в вероятностно-логарифмической сетке, как правило, описывается не более, чем пятью сплайнами: гипербола, парабола, прямая, гипербола, парабола. Показано, что повышение влажности грунта в пределах от 0,25 до 2,5 % снижает значения интегральной функции распределения. Экспериментально получены значения понижающих коэффициентов, которые позволяют уточнить величину валовых выбросов и сдуваемость материала.

3 Разработана математическая модель для построения непрерывной и непрерывно дифференцируемой интегральной функции распределения массы пыли в месте выполнения земляных работ. Для реализации модели разработаны программы DustMatrix и DustMatrix 2.0.

4 Экспериментально получены выражения для аэродинамических характеристик частиц (скорость оседания, удельная сдуваемость) в зависимости от эквивалентных диаметров.

5 Для каждой технологической операции при разработке траншеи и отсыпки отвала грунта построены геометрические поверхности виртуальных неорганизованных источников, необходимые для расчета рассеивания частиц пыли. Разработана методология построения виртуальных цилиндрических поверхностей.

6 На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований рассчитаны валовой и максимальный разовый выброс при разработке траншей и других технологических операциях земляных работ с использованием поверхностей виртуальных источников.

Показано, что уточнение начальных условий пылевыделений при прокладке подземных инженерных сетей позволит учесть распределение концентраций по высоте поверхности виртуального источника и уточнить прогноз запыленности в жилой зоне до 30%.

Предложены рекомендации по организации строительного производства и организационно-технологические мероприятия для снижения пылевого загрязнения окружающей среды при осуществлении земляных работ: системы пылеулавливания, укрытия, орошения.

Перспективы дальнейшего исследования темы диссертации

- разработка всех возможных вариантов применения различных сплайнов для построения интегральной функции распределения объемов частиц по диаметрам;
- совершенствование существующих методик расчета рассеивания от неорганизованных источников не только при строительстве, но и в других отраслях;
- продолжение разработки технических решений для локализации вредных выбросов аэрозоля при других технологических процессах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК России:

- по специальности 2.10.2 «Экологическая безопасность» (технические науки)

1. К вопросу о начальных условиях при расчетах рассеивания взвешенных веществ от виртуальных источников загрязнения атмосферы при земляных работах [Текст] / А. М. Ахмедов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. - 2025. - № 3 (100). - С. 101-110.

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. Ахмедов, А. М. Исследование конфигурации поверхности виртуального источника загрязнения воздушной среды при земляных работах в строительстве [Текст] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2025. - № 1 (98). - С. 220-228.

- по специальности 2.1.10 (05.23.19) Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки)

4. Абрамян, С. Г. Технологическая схема замены изоляции при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов с применением ГИС-технологий [Текст] / С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2013. - Вып. 30 (49). - С. 342-345.

5. Ахмедов, А. М. Анализ антикоррозийной защиты при строительстве и капитальном ремонте линейно-протяженных сооружений [Текст] / А. М. Ахмедов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2013. - Вып. 30 (49). - С. 184-189.

6. Экологическое состояние Волгограда: проблемы, скрытые источники загрязнения [Текст] / А. М. Ахмедов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. - 2014. - Вып. 36 (55). - С. 240-246.

7. Ахмедов, А. М. Разработка экологически безопасного способа укладки магистрального нефтегазопровода [Текст] / А. М. Ахмедов, С. Г. Абрамян, А. Д. Потапов // Вестник МГСУ. - 2014. - № 5. - С. 100-107.

8. Потапов, А. Д. Экореконструкция городского пространства Волгограда на принципах субурбанизации городских территорий [Текст] / А. Д. Потапов, С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов // Вестник МГСУ. - 2014. - № 6. - С. 105-113.

9. Ахмедов, А. М. Совершенствование технологической операции центровки секций труб под сварку при осуществлении строительства и методов капитального ремонта магистральных трубопроводов [Электронный ресурс] А. М. Ахмедов // Инженерный Дона. - 2017. - вестник - № 1. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_24_akhmedov_am.pdf_db613836bc.pdf.

10. Ахмедов, А. М. Совершенствование подготовительных процессов при осуществлении земляных работ на линейной части магистральных трубопроводов [Электронный ресурс] А. М. Ахмедов // Инженерный вестник Дона. - 2017. - № 1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3952>.

11. Экологически безопасный способ осуществления монтажа стальных трубопроводов больших диаметров в условиях городской застройки [Электронный ресурс] / А. М. Ахмедов [и др.] // Инженерный вестник Дона. - 2021. - №12. - URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7335>.

12.Снижение пылевого загрязнения окружающей среды при осуществлении технологического процесса вскрытия траншеи [Электронный ресурс] / А. М. Ахмедов [и др.] // Инженерный вестник Дона. - 2021. - №12. - URL:<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7363>.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных Scopus и Web of Science:

13.Achmedov, A. M. Modeling the dynamics of fine dust fraction in the surface layer of the atmosphere [Electronic resource]/ Е. С. Савин, А. М. Ахмедов, А. В. Хоперсков // BIO Web of Conferences. Vol. 71: II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023) (Uzbekistan, Russia, July 3-5, 2023) / eds.: G. Uzakov [et al.]. - Publisher : EDP Sciences, 2023. - Article 02013. - 7 p. - DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102013>.

14.Achmedov, A. M. Method for Pipeline Section Retrieval for Overhaul with Complete Replacement [Electronic resource] / A. M. Achmedov// International science and technology conference «EarthScience». IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1 (1-4 October, 2019, Vladivostok, Russian Federation).- URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/459/2/022028>. Doi:10.1088/1755-1315/459/2/022028.

15.Achmedov, A. M. Innovative assembly line for building and major repair of main pipeline [Electronic resource] / A. M. Achmedov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687 : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019) (25-27 September 2019, Chelyabinsk, The Russian Federation). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/4/044007/pdf>. Doi:10.1088/1757-899X/687/4/044007.

16.Achmedov, A. M. The Upgrading of the Technological Process of the Main Pipeline Break by Means of the Bucket with the Improved Running Gear [Electronic resource] / A.M.Achmedov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 272 : International science and technology conference «Earth science» (Russky Island, Russian Federation, 4–6 March, 2019). - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/3/032023/pdf>.

17.Achmedov, A. M. Device to support section of major pipeline under repair in trench when doing repair works [Electronic resource] / A. M. Achmedov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451, № 1. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018) 26 - 28 September 2018, South Ural State University, Russian Federation. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012076/pdf>.

18.Achmedov, A. M. The device for center adjustment of pipe joints to carry out welding works when building and major repairing main pipelines [Electronic resource] / A. M. Achmedov // MATEC Web of Conferences. Vol. 224 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2018 (ICMTME 2018) (Sevastopol, Russia, 10-14 September, 2018). URL:https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/83/mateconf_icmtmte2018_01053/mateconf_icmtmte2018_01053.html.

19.Achmedov, A.M. The device to improve the working element of the rotary trench excavator in the production process of breaking a main pipeline[Electronic resource] / A.M.Achmedov// MATEC Web of Conferences. Vol. 129 : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, Russia, September 11-15, 2017). URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_06028.pdf.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

20. Аспирационное укрытие [Текст]: пат. 2821632 Рос. Федерация, МПК E21F 5/20, B65G 69/18 / Н. А. Фоменко [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2023132467; заявл. 08.12.2023; опубл. 25.06.2024, Бюл. № 18.

21. Бульдозер [Текст]: пат. 2825862 Рос. Федерация, МПК E02F 3/76 / Н.А. Фоменко, А.М. Ахмедов, В. Н. Фоменко; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2023135371; заявл. 27.12.2023 ; опубл. 02.09.2024, Бюл. № 25.

22. Аспирационная пылеулавливающая установка [Текст]: пат. 2793668 Рос. Федерация, МПК B08B 15/02 / Н. А. Фоменко [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022114341; заявл. 27.05.2022; опубл. 04.04.2023, Бюл. № 10.

23. Аспирационная пылеулавливающая установка [Текст]: пат. 2793670 Рос. Федерация, МПК B08B 15/02 / Н. А. Фоменко, [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022114357; заявл. 27.05.2022; опубл. 04.04.2023, Бюл. № 10.

24. Аспирационная пылеулавливающая установка [Текст]: пат. 2788387 Рос. Федерация, МПК B08B 15/02 / Н.А. Фоменко, [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022108111; заявл. 28.03.2022; опубл. 18.01.2023, Бюл. № 2.

25. Аспирационная пылеулавливающая установка [Текст] : пат. 2788380 Рос. Федерация, МПК B08B 15/02 / Н. А. Фоменко, [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022114352; заявл. 27.05.2022; опубл. 18.01.2023, Бюл. № 2.

26. Аспирационная пылеулавливающая установка на базе транспортного средства [Текст]: пат. 2794309 Рос. Федерация, МПК B04C 9/00 / Н. А. Фоменко [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022114362; заявл. 27.05.2022; опубл. 14.04.2023, Бюл. № 11.

27. Аспирационная пылеулавливающая установка [Текст]: пат. 2781341 Рос. Федерация, МПК B08B 15/02 / Н.А. Фоменко, [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022108122; заявл. 28.03.2022; опубл. 11.10.2022, Бюл. № 29.

28. Распылительная система [Текст]: пат. 2781339 Рос. Федерация, МПК B05B 13/00 / Н. А. Фоменко, [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2022105612; заявл. 02.03.22; опубл. 11.10.22, Бюл. № 29.

29. Устройство для монтажа магистрального трубопровода [Текст]: пат. 147232 Рос. Федерация, МПК F16L1/00 / А. М. Ахмедов, С. Г. Абрамян; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2014111425/06; заявл. 25.03.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 30.

30. DustMatrix [Текст] : свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025662914, Рос. Федерация / В. Н. Азаров [и др.]; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 2025662234; заявл. 23.05.2025; опубл. 23.05.2025 ; Бюл. № 6.

31. DustMatrix 2.0 [Текст]: свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025681124 Рос. Федерация / В. Н. Азаров, А. М. Ахмедов, И. С. Кузнецов ; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - № 202568034; заявл. 12.08.2025; опубл. 12.08.2025, Бюл. № 8.

Соискатель имеет 18 публикаций в сборниках материалов научно-практических конференций разного уровня.

АХМЕДОВ АСВАР МИКДАДОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ПРОКЛАДКЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

2.10.2 Экологическая безопасность
(технические науки)

Подписано в печать 13.10.2025г. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»

Усл.печ.л. 1,0.

Тираж 100. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Волгоградский государственный технический университет»

400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1