

На правах рукописи



КУЗЬМИЧЕВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОГО АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПАРАМЕТРОВ
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Волгоград – 2019 г.

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:

Манохин Вячеслав Яковлевич
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», профессор кафедры
«Техносферная и пожарная
безопасность»

Ельчищева Татьяна Федоровна
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный технический
университет», доцент кафедры
«Архитектура и строительство зданий»

Ведущая организация:

ФГБУ «Научно–исследовательский
институт строительной физики
Российской академии архитектуры и
строительных наук»

Защита состоится «25» сентября 2019 г. в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 212.028.09 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ауд. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в информационно–библиотечном центре и на сайте Волгоградского государственного технического университета www.vstu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Жукова Наталия Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с повышенной антропогенной нагрузкой на воздушную городскую среду здания, сооружения и памятники архитектуры нуждаются в защите. В соответствии с Государственным докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году», «под негативным воздействием экологических факторов в 2009 году в России находилось более 35,1 тыс. памятников истории и культуры, в том числе под воздействием факторов естественного происхождения – около 9,7 тыс., под воздействие факторов антропогенного происхождения – около 25,4 тыс. объектов». Эти данные свидетельствуют о сохранении высокого уровня подверженности памятников негативному воздействию экологических факторов и увеличиваются с каждым годом преимущественно за счет антропогенных процессов. Одним из основных экологических факторов, который негативно воздействует на объекты культурного наследия, является содержащаяся в воздухе пыль. Ее образование связано как с естественными процессами, такими как выветривание, разрушения горных пород, вулканическая активность, космическая пыль, так и с антропогенными процессами, связанными с развитием промышленности, сельского и коммунально-бытового хозяйства, транспортной активностью. В связи с этим актуальными являются исследования закономерностей загрязнения зданий, возникающие вследствие процесса адгезии (налипания и отрыва) частиц городской пыли на вертикальных поверхностях строительных объектов, которые демонстрируют архитектурные и конструктивные особенности различных исторических периодов развития страны.

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.23.19 – «Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства», пункты 1,3,4,8.

Объект исследования – вертикальные поверхности зданий и сооружений, расположенных в городской среде.

Предмет исследования – степень загрязнения вертикальных поверхностей зданий и сооружений пылью, содержащейся в атмосферном воздухе городской среды.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами адгезии частиц пыли и порошков занимались отечественные и зарубежные ученые. В монографии Дерягина Б.В., Кротовой Н.А., Смильги В.П. изложена теория взаимодействия твердых тел и рассмотрена связь адгезии с трением. В трудах Фукса Н.А. затронуты некоторые вопросы «прилипания» частиц в воздушном потоке. Опубликован ряд экспериментальных и теоретических работ по адгезии частиц в жидкой среде

(Дерягин Б.В., Фукс Г.И., Бузаг А.). Авторство большинства работ, посвященных вопросам адгезии пыли и порошков, принадлежит Зимону А.Д.

Учёт экологических факторов при градостроительном проектировании, исследования фактора запыленности в формировании и реконструкции городской застройки, вопросы концепции биосферной совместимости городов и поселений, вопросы экологии визуальной среды отражены в работах Азарова В.Н., Бакаевой Н.В., Галишниковой В.В., Гордона В.А., Городкова А.В., Донцовой Т.В., Ельчищевой Т.Ф., Емельянова С.Г., Игнатьева В.А., Ильичева В.А., Колчунова В.И., Птичниковой Г.А., Садовниковой Н.П., Салтановой С.И., Сидоренко В.Ф., Стеценко С.Е, Теличенко В.И., Умняковой Н.П., Федосовой С.И., Филина В.А., Шеиной С.Г. и многих других авторов.

Исследование свойств пылевого аэрозоля, изучение пыли в виде дисперсной системы, поведение частиц пыли в условиях действия на них внешних факторов, изучение вопросов, связанных со снижением концентрации пыли в воздушной среде, отражено в работах Азарова В.Н., Амерханова Р.А., Батманова В.П., Беспалова В.И., Богуславского Е.И., Боровкова Д.П., Гращенкова Н.Ф., Грина Х., Диденко В.Г., Дьякова В.В., Желтобрюхова В.Ф., Жуковой Н.С., Журавлева В.К., Журавлева В.П., Кирина Б.Ф., Коузова П.А., Кошкарёва С.А., Лобойко В.Ф., Логачева И.Н., Логачева К.И., Ложкиной О.В., Луговского С.И., Манохина В.Я., Медникова Е.П., Мензелинцевой Н.В., Минко В.А., Никитина В.С., Перцева Н.В., Позднякова Г.А., Ребиндера П.А., Сергиной Н.М., Сидельниковой О.П., Сидоренко В.Ф., Сидякина П.А., Фукса Г.И., Фукса Н.А., Шеиной С.Г. и многих других авторов.

Однако, вопросы, связанные с исследованием закономерностей загрязнения зданий и сооружений пылью, содержащейся в атмосферном воздухе городской среды, являются недостаточно изученными.

Научная гипотеза состоит в существовании диапазона направления воздушного потока к вертикальной поверхности зданий и сооружений, при котором происходит налипание частиц атмосферного аэрозоля, и диапазонов, при которых осуществляется отрыв данных частиц.

Цель работы – исследование закономерностей загрязнения вертикальных поверхностей зданий и сооружений городской среды пылью, содержащейся в атмосферном воздухе.

На основании поставленной цели были сформулированы следующие **задачи исследования**:

- анализ литературных источников для выявления степени научной разработанности темы исследования, посвященной изучению загрязнений зданий и сооружений, расположенных в городской среде;

- теоретические и экспериментальные исследования процесса адгезии (налипания и отрыва) частиц городской пыли на оштукатуренной, окрашенной, стеклянной и металлической вертикальных поверхностях;

- анализ основных свойств пыли, содержащейся в атмосферном воздухе городской среды, климатических факторов и других условий протекания процесса адгезии (налипания и отрыва) городской пыли на различных вертикальных поверхностях зданий и сооружений;

- натурные исследования загрязнения пылью наиболее характерных для городской среды вертикальных поверхностей;

- экспериментальные исследования возможности существования диапазонов направлений воздушного потока к вертикальной поверхности зданий и сооружений, при которых происходит налипание частиц городского атмосферного аэрозоля, и диапазонов, при которых осуществляется отрыв данных частиц;

- разработка методик и программы для расчёта текущего загрязнения и прогнозирования загрязнения вертикальных поверхностей зданий и сооружений в будущем, а также оценки степени ухудшения их внешнего облика;

- внедрение результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научная новизна заключается в результатах исследования закономерностей процесса адгезии (налипания и отрыва) атмосферного аэрозоля городской среды (ААГС) на вертикальных поверхностях зданий и сооружений и определяется следующими результатами:

- экспериментально доказано существование диапазона направления воздушного потока к вертикальной поверхности зданий и сооружений, при котором происходит налипание частиц городского атмосферного аэрозоля, и диапазонов, при которых осуществляется отрыв данных частиц;

- предложена расчётная модель для определения средней силы адгезии для атмосферного аэрозоля городской среды (ААГС) с учётом подчинения дисперсного состава ААГС усечённому логарифмически–нормальному закону распределения;

- показано, что дисперсный состав пыли, осевшей на вертикальных поверхностях зданий и сооружений, подчиняется усечённому логарифмически–нормальному закону распределения;

- на основании экспериментальных исследований получены регрессионные зависимости массовой доли налипания пыли на наиболее характерные для городской

среды вертикальные поверхности (стеклянная, металлическая, оштукатуренная, окрашенная поверхности) от таких факторов, как концентрация пыли в воздушном потоке, максимальный размер частиц, скорость воздушного потока, направление воздушного потока к вертикальной поверхности;

– на основании экспериментальных исследований получены регрессионные зависимости массовой доли частиц пыли, которые отрываются с различных городских вертикальных поверхностей под действием ветра, от таких факторов, как величина ранее налипшего слоя пыли на вертикальных поверхностях (мг/м^2), скорость воздушного потока, направление воздушного потока к вертикальной поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– экспериментально установлено и затем подтверждено натурными исследованиями, что при горизонтальных воздушных потоках к вертикальной поверхности под углами, находящимися в диапазоне $30^\circ \div 150^\circ$, происходит налипание пыли, а при горизонтальных воздушных потоках к вертикальной поверхности под углами, находящимися в диапазонах $0^\circ \div 20^\circ$ и $160^\circ \div 180^\circ$, происходит отрыв частиц пыли;

– разработана экспериментальная установка для запыления вертикальной пластины, позволяющая в лабораторных условиях при различных режимах воздушного потока исследовать закономерности процесса адгезии (налипания и отрыва) частиц пыли на вертикальных поверхностях, выполненных из разнообразных строительных и отделочных материалов;

– получены регрессионные зависимости массовой доли налипания городского атмосферного аэрозоля на вертикальные поверхности, а также регрессионные зависимости массовой доли отрыва частиц пыли с вертикальных поверхностей, наиболее характерных для городской среды, от случайных факторов: концентрации пыли в воздухе, максимального размера частиц, скорости воздушного потока, направления воздушного потока к вертикальной поверхности, а также величины ранее налипшего слоя пыли на вертикальных поверхностях.

– установлено, что при исследовании процесса адгезии (налипания и отрыва) пыли на различных вертикальных поверхностях в условиях г. Волгограда наиболее значимыми из числа исследуемых факторов, таких как концентрация пыли в воздухе, максимальный размер частиц, скорость воздушного потока, направление воздушного потока к вертикальной поверхности, величина слоя пыли на вертикальной поверхности, являются скорость и направление воздушного потока, а также при

отрыве частиц, кроме данных факторов, особую значимость имеет величина ранее налипшего слоя пыли на вертикальных поверхностях.

- получены расчетные формулы для прогнозирования годового, сезонного и др. загрязнения пылью различных вертикальных поверхностей, наиболее характерных для городской среды с использованием распределения таких климатических факторов, как скорость и направление воздушного потока;

- на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны **методики и программа** для расчета текущего и прогнозирования будущего загрязнений вертикальных поверхностей зданий и сооружений, расположенных в городской среде, а также произведена оценка степени загрязнения их фасадов.

Методология и методы исследования заключались в аналитическом обобщении известных научных и технических результатов, натурных, теоретических и лабораторных исследований с использованием такого оборудования, как экспериментальная установка для запыления вертикальной пластины с целью исследования адгезии (налипания и отрыва) атмосферного аэрозоля городской среды (ААГС) на различных вертикальных поверхностях, стереоскопический микроскоп МБС-10 совместно с программой «Dust-1» для определения дисперсного состава ААГС, сканирующий электронный микроскоп Versa 3D для изучения химического (элементного) состава пыли. План экспериментальных исследований представляет собой матрицу планирования, которая соответствует центральному композиционному рототабельному плану (ЦКРП). Она имеет в основе план полного факторного эксперимента и дополняется определенными точками факторного пространства, а именно звездными точками и опытами в центре плана. Обработка данных, полученных в результате эксперимента, была проведена при помощи пакета программ статистического анализа «STATISTICA». Значимость коэффициентов регрессии определялась по критерию Стьюдента, адекватность математической модели – по критерию Фишера, воспроизводимость результатов проводилась при помощи критерия Кохрена. Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики и математического анализа.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- положение о справедливости регрессионных зависимостей для расчёта величин налипания и отрыва частиц городской пыли на различных вертикальных поверхностях;

- положение о справедливости выделения в диапазонах направлений воздушного потока к вертикальной поверхности двух принципиально различных участков: при

горизонтальных воздушных потоках к вертикальной поверхности под углами, находящимися в диапазоне $30^{\circ} \div 150^{\circ}$, происходит налипание пыли, а при горизонтальных воздушных потоках к вертикальной поверхности под углами, находящимися в диапазонах $0 \div 20^{\circ}$ и $160^{\circ} \div 180^{\circ}$, происходит отрыв частиц пыли;

- положение о справедливости расчётных формул для определения величины загрязнения зданий и сооружений, учитывающей процессы налипания и отрыва частиц городской пыли на вертикальных поверхностях, методом последовательного перебора отрезков времени с постоянным направлением ветра;

- положение о возможности использования приближённого расчёта величины загрязнения зданий и сооружений, учитывающей процессы налипания и отрыва частиц городской пыли на вертикальных поверхностях, для прогнозирования ухудшения их внешнего вида на основании распределения таких климатических факторов, как скорость и направление воздушного потока.

Личный вклад соискателя заключается в том, что все положения, выносимые на защиту, получены автором лично, в том числе анализ и обобщение научно-технической и нормативной литературы, разработка методик расчётного определения текущего загрязнения, а также прогнозирования загрязнения зданий и сооружений в будущем, осуществление теоретических и экспериментальных исследований адгезии (налипания и отрыва) частиц пыли на таких наиболее характерных для городов вертикальных поверхностях, как оштукатуренная, окрашенная, стеклянная, металлическая поверхности.

Степень достоверности научных положений данной работы соответствует современным требованиям. Она обоснована использованием классических положений теоретического анализа, сопоставлением результатов экспериментальных исследований в лабораторных, а также натурных условиях с результатами теоретических обобщений и данными исследований, проведенных ранее.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались, а также получили одобрение на 2-й Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (Челябинск, 2016 г.), 7-й Международной конференции «Information, Intelligence, Systems & Applications» (Греция, 2016 г.), Международной научно-технической конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» (Севастополь, 2017 г.), Международной конференции «Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering II» (Южная Корея, 2017 г.), I Международной научно-технической конференции «Инженерные системы и энергоэффективность в

строительстве, природообустройстве» (Крым, 2018 г.), научно-практическом семинаре «Современные проблемы техносферной безопасности (Опасности вокруг нас)» (Волгоград, 2018 г.).

Реализация результатов работы. Предложенная методика расчёта текущего и прогнозирования будущего загрязнения зданий и сооружений, а также периодичности очистки их вертикальных поверхностей апробирована в следующих организациях: ООО «НПО Волгоградохракультура» при разработке разделов научно–проектной документации на проведение работ по сохранению объектов культурного наследия; ООО «Управление Фасадремонт Волгоградгоргражданстрой» при выполнении работ по капитальному ремонту фасадов жилых домов г. Волгограда; ООО «Чистый мир» при проведении работ по очистке фасадов зданий. Методика, позволяющая прогнозировать запыление воздушной городской среды, внедрена в ООО «Экотехмониторинг» при выполнении разделов проектов ОВОС и ПДВ.

Публикации. Основные результаты по теме настоящего исследования опубликованы в 15 работах. Из них 8 статей, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, в том числе 1 статья в Сборнике научных трудов к Общему собранию членов РААСН в 2019 году, 4 статьи, опубликованных в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных, в том числе в базе данных «Scopus» – 3 статьи, в базе данных «Web of Science» – 3 статьи, в базе данных «Chemical Abstracts Service» – 1 статья, оформлена заявка на патент РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа изложена на 185 страницах, из них 166 страниц основного текста. Содержит 63 рисунка, 16 таблиц, список литературы из 111 источников и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены методология и методы диссертационного исследования, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности, сведения об апробации результатов проведенных исследований, публикациях по теме диссертации, её структуре и объёму.

В первой главе представлена характеристика внешнего вида зданий и сооружений, факторов, влияющих на его ухудшение, а также проведен анализ

существующих проектных решений и нормативов по внешнему облику строительных конструкций.

Одним из основных процессов, который протекает в атмосферном воздухе и негативно воздействует на внешний облик зданий и сооружений, является адгезия – взаимодействие микроскопических частиц с твердой поверхностью, обусловленное силами, зависящими как от свойств контактирующих тел, так и от свойств среды. Атмосферный аэрозоль городской среды (ААГС) является составной частью адгезионного процесса и представляет собой как частицы природного и антропогенного происхождения, так и целый спектр загрязняющих агентов, среди числа которых сажа, бактерии, вирусы и другие контаминанты. В результате налипания пыли на вертикальных поверхностях объектов со временем формируются тёмные отложения, представляющие собой скопление твёрдых частиц, что приводит к нежелательным эстетическим эффектам, а также ставит под угрозу целостность материалов. Таким образом, выбор направления исследования определен необходимостью изучения закономерностей загрязнения вертикальных поверхностей зданий и сооружений содержащейся в воздухе пылью, т.к. это является основой для сохранения внешнего облика строительных объектов, которые демонстрируют архитектурные и конструктивные особенности различных исторических периодов развития страны.

Вторая глава посвящена анализу теоретических положений и исходных характеристик процесса адгезии атмосферного аэрозоля городской среды (ААГС) на вертикальных поверхностях зданий и сооружений.

Так как дисперсный состав ААГС не подчиняется логарифмически–нормальному закону распределения, использованному Зимоном А.Д. для характеристики процесса адгезии стеклянной пыли по числу адгезии, то применение зависимостей для расчёта числа адгезии ААГС должно быть основано на результатах экспериментальных исследований. Поэтому уместно говорить не о числе частиц и доле числа частиц, а об их массе и доле массы. По аналогии с Зимоном А.Д. будем понимать под числом адгезии массовую долю от налипших ранее частиц, которые остались на поверхности после воздействия на неё воздушного потока γ_F (массовая доля) для характеристики процесса налипания ААГС на вертикальные поверхности зданий.

Аналогично с Зимоном А.Д., под величиной α_F в данной работе будем понимать массовую долю частиц, которые отрываются с поверхности под воздействием внешних сил. При этом, на наш взгляд, уместно говорить о данной величине в единицу времени в связи с различным характером внешних воздействий. По аналогии с величиной α_F обозначим массовую долю частиц городской пыли,

которые отрываются с поверхности под действием ветра в единицу времени $\gamma A_{\text{отр}}$, $1/\text{с}$.

Таким образом, для оценки адгезионного процесса городской пыли на вертикальных поверхностях зданий и сооружений предлагается использовать вышеупомянутые величины (массовую долю налипания и массовую долю отрыва частиц) в зависимости от климатических факторов – скорости и направления воздушного потока к вертикальной поверхности, а также от свойств городских вертикальных поверхностей. Установлено, что дисперсный состав городской пыли, осевшей на вертикальных поверхностях зданий и сооружений, подчиняется усечённому логарифмически–нормальному закону распределения.

Взаимодействия твердых частиц с поверхностью Зимон А.Д. предложил характеризовать силой F_{50} , обуславливающей отрыв или удержание 50% прилипших частиц $\gamma_F = \alpha_F = 50\%$, при логарифмически–нормальном законе распределения. Проведены расчёты по корректировке данной формулы с учётом подчинения дисперсного состава городской пыли усечённому логарифмически–нормальному закону распределения:

$$F_{\text{ср}} = \frac{2}{\Phi\left(\frac{\lg F_{\text{макс}} - \lg \bar{F}}{0,43\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\lg F_{\text{мин}} - \lg \bar{F}}{0,43\sigma}\right)} \cdot \frac{0,43}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{F_{\text{мин}}}^{F_{\text{макс}}} \exp\left[-\frac{(\lg F_{\text{ад}} - \lg \bar{F})^2}{2\sigma^2}\right] d F_{\text{ад}} \quad (1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение, характеризующее распределение частиц по размерам; \bar{F} – медианная сила, приближённо равная силе F_{50} .

Одним из основных свойств вертикальных поверхностей, влияющих на адгезию частиц, является их шероховатость – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине, мкм. Определено 14 классов шероховатости (чистоты) поверхности, где высший класс – 14, приемлемой является поверхность не менее 4 класса чистоты. В результате проведённых исследований адгезии (налипания и отрыва) частиц ААГС на наиболее характерных для городской среды вертикальных поверхностях, выделены следующие варианты влияния шероховатости вертикальных поверхностей на взаимодействие частиц с ними:

- при контакте ААГС со стеклянной вертикальной поверхностью, обработанной по высшему классу чистоты, т.е. с гладкой вертикальной поверхностью (рисунок 1а).
- при контакте ААГС с металлической, оштукатуренной и окрашенной вертикальными поверхностями, обработанными не ниже 10 класса чистоты поверхности (рисунок 1б).

– при контакте ААГС с металлической, оштукатуренной и окрашенной вертикальными поверхностями, обработанными ниже 10 класса чистоты поверхности (рисунок 1в).

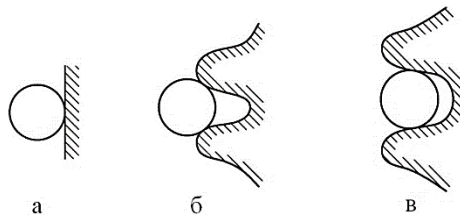


Рисунок 1 – Влияния шероховатости вертикальной поверхности на налипание ААГС: а – контакт с гладкой поверхностью, б – высота выступов поверхности меньше размеров частиц, в – высота выступов поверхности больше размеров частиц

В третьей главе представлены планирование, обработка и результаты экспериментальных исследований налипания и отрыва частиц пыли для вертикальных поверхностей, наиболее характерных для городской среды: оштукатуренная, окрашенная, стеклянная, металлическая поверхности.

Разработана экспериментальная установка для запыления вертикальной пластины, позволяющая в лабораторных условиях исследовать процесс адгезии (налипания и отрыва) частиц пыли на вертикальных поверхностях, выполненных из различных строительных и отделочных материалов.

Проведены экспериментальные исследования налипания городской пыли на различные вертикальные поверхности. Реализован план эксперимента, который представляет собой матрицу планирования, соответствующую центральному композиционному ротатабельному плану (ЦКРП). Получены регрессионные зависимости для налипания ААГС на различные вертикальные поверхности от таких четырех случайных факторов, как концентрация пыли в воздушном потоке C , мг/м³; максимальный размер частиц d , мкм; скорость воздушного потока V , м/с; направление воздушного потока к вертикальной поверхности φ для следующих видов вертикальных поверхностей:

1. Исследуемый образец вертикальной поверхности – **стеклянная поверхность**:

$$\gamma_{F(\text{массовая доля})\text{ст.}} = 0,00235 - 0,00589C - 0,0002988d + \\ + 0,00087V + 0,0055\varphi + 0,003992C^2 + 0,00000998d^2 \quad (2)$$

2. Исследуемые образцы вертикальной поверхности – **оштукатуренная и окрашенная поверхности**:

$$\gamma_{F(\text{массовая доля})\text{шт.}} = -0,00472 + 0,002432C + 0,0001104d + 0,001114V + 0,006667\varphi \quad (3)$$

3. Исследуемый образец вертикальной поверхности – **металлическая (стальная) поверхность:**

$$\gamma_{F(\text{массовая доля})_{\text{мет.}}} = -0,002737 + 0,00195C - 0,00024d + \\ + 0,0005V - 0,000319\varphi + 0,000009d^2 + 0,00078V \cdot \varphi + 0,0001589d \cdot \varphi \quad (4)$$

Аналогичным образом проведены экспериментальные исследования отрыва частиц городской пыли с исследуемых вертикальных поверхностей. Получены регрессионные зависимости для отрыва частиц пыли с различных вертикальных поверхностей от трёх случайных факторов: плотность налипания пыли на вертикальные поверхности G , мг/м²; скорость воздушного потока V , м/с; направление воздушного потока к вертикальной поверхности φ для следующих видов поверхностей:

1. Исследуемые образцы вертикальной поверхности – **оштукатуренная и окрашенная поверхности:**

$$\gamma A_{\text{отр.шт.}} = -0,99527 - 0,00007G + 0,00108V - 0,00378\varphi + 0,00033G \cdot \varphi - 0,001086V \cdot \varphi \quad (5)$$

2. Исследуемый образец вертикальной поверхности – **стеклянная поверхность:**

$$\gamma A_{\text{отр.ст.}} = -0,99499 + 0,00012G + 0,000005V - 0,0074\varphi + 0,000005G^2 + 0,00376\varphi^2 \quad (6)$$

3. Исследуемый образец вертикальной поверхности – **металлическая (стальная) поверхность:**

$$\gamma A_{\text{отр.мет.}} = -0,99837 + 0,00013G + 0,000005G^2 \quad (7)$$

Адекватность математических моделей определялась по критерию Фишера, значимость вычисленных коэффициентов регрессионных зависимостей для налипания и отрыва частиц городской пыли на вертикальных поверхностях от случайных факторов определялась по критерию Стьюдента, оценка воспроизводимости полученных результатов проводилась при помощи критерия Кохрена.

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что в обоих экспериментах наиболее значимыми являются скорость и направление воздушного потока к вертикальной поверхности. Однако, при процессе отрыва частиц пыли с вертикальных поверхностей, кроме данных факторов, особую значимость имеет величина ранее налипшего слоя пыли на вертикальные поверхности G .

Экспериментально доказано, что запыление вертикальных поверхностей осуществляется в «зоне устойчивого налипания» при «положительном» направлении воздушного потока к вертикальной поверхности в диапазоне 30°÷150°.

Максимальные значения величины налипания достигаются при направлении воздушного потока к вертикальной поверхности под углом 90° (рисунок 2). Процесс отрыва частиц с вертикальных поверхностей осуществляется в «зонах устойчивого отрыва» при «отрицательных» направлениях воздушного потока к вертикальной поверхности в диапазонах $0^\circ \div 20^\circ$ и $160^\circ \div 180^\circ$. Максимальные значения величины отрыва частиц городской пыли – при направлении воздушного потока вдоль вертикальной поверхности (рисунок 2). При значениях направлений воздушного потока к вертикальной поверхности, находящихся в диапазонах $20^\circ \div 30^\circ$ и $150^\circ \div 160^\circ$, которые именуются «переходными зонами», происходит частичное налипание и отрыв частиц пыли: диапазоны $25^\circ \div 30^\circ$ и $150^\circ \div 155^\circ$ являются «зонами неустойчивого налипания», где частицы преимущественно налипают на поверхность, диапазоны $20^\circ \div 25^\circ$ и $155^\circ \div 160^\circ$ являются «зонами неустойчивого отрыва», где частицы преимущественно отрываются с поверхности (рисунок 2).

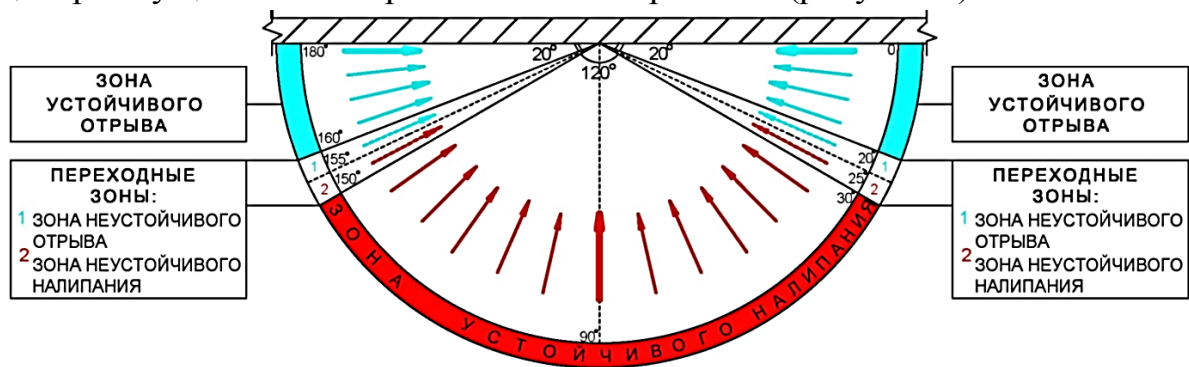


Рисунок 2 – Исследуемые направления воздушного потока к вертикальной поверхности

Однако, при отдельных режимах скоростей воздушного потока к вертикальной поверхности допускается незначительный отрыв частиц пыли в «зоне неустойчивого налипания» и незначительное налипание пыли в «зоне неустойчивого отрыва» на вертикальных поверхностях зданий.

Четвёртая глава посвящена теоретическим и натурным исследованиям процесса адгезии (налипания и отрыва) частиц атмосферного аэрозоля городской среды (ААГС) на вертикальных поверхностях.

1. Теоретический расчёт налипания пыли на вертикальные поверхности.

На основании экспериментальных исследований доказано, что из 8 румбов, характеризующих направление ветра, максимальным количеством его направлений, способствующих налипанию пыли на вертикальные поверхности зданий и сооружений, является 3 направления, а также с учетом значимости таких климатических факторов, как скорость и направление воздушного потока к

вертикальной поверхности, величина суммарного налипания пыли на вертикальные поверхности за отрезок времени τ будет вычисляться по формуле (8):

$$\Delta G_{\text{налип.}} = \sum_{i=1}^3 \tau_i \int_0^{V_0} \gamma_{F(\text{массовая доля})}(C, d, V, \varphi) \cdot C \cdot V \cdot \sqrt{1 - \varphi^2} dF(V) \quad (8)$$

где $\gamma_{F(\text{массовая доля})}$ – массовая доля налипших частиц городской пыли к пыли в набегающем на поверхность воздушном потоке; C – концентрация пыли в воздухе, мг/м³; V – скорость воздушного потока, м/с; $F(V)$ – интегральная функция распределения скорости ветра.

Так как распределение скоростей воздушного потока описывается законом Вейбулла, то интегральная функция имеет вид:

$$F(V, k, \beta) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k} \quad (9)$$

где k – параметр формы распределения; β – параметр масштаба распределения.

Интеграл (10) применим для различных городских вертикальных поверхностей. Для примера произведём теоретический расчёт суммарного налипания ААГС на стеклянную вертикальную поверхность при условии, что $V_0 \rightarrow \infty$:

$$J = \int_0^{V_0} \gamma_{F(\text{массовая доля})}(\varphi, V, d, C) \cdot C \cdot V \cdot \sqrt{1 - \varphi^2} dF(V) \quad (10)$$

Запишем регрессионную зависимость для налипания городской пыли на стеклянную поверхность $\gamma_{F(\text{массовая доля})\text{ст.}}$ от четырех случайных факторов (2) в общем виде:

$$\gamma_{F(\text{массовая доля})\text{ст.}} = a_1 + a_2 C + a_3 d + a_4 V + a_5 \varphi + a_6 C^2 + a_7 d^2 \quad (11)$$

где $a_1 = 0,00235$; $a_2 = -0,00589$; $a_3 = -0,0002988$; $a_4 = 0,00087$; $a_5 = 0,0055$; $a_6 = 0,003992$; $a_7 = 0,00000998$.

В результате преобразований получим окончательный интеграл $J_{\text{ст.}}$:

$$J_{\text{ст.}} = C \cdot \sqrt{1 - \varphi^2} \frac{k}{\beta^k} \left(\frac{m \beta^{k+1}}{k} \cdot I + \frac{a_4 \beta^{k+2}}{k} \cdot I_1 \right) = C \cdot \sqrt{1 - \varphi^2} (m \beta I + a_4 \beta^2 I_1) \quad (12)$$

$$\text{где } m = a_1 + a_2 C + a_3 d + a_5 \varphi + a_6 C^2 + a_7 d^2; \quad I = \int_0^{\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} t^{\frac{1}{k}} e^{-t} dt; \quad I_1 = \int_0^{\left(\frac{V_0}{\beta}\right)^k} t^{\frac{2}{k}} e^{-t} dt.$$

Получим формулу для расчёта суммарного налипания ААГС на стеклянную вертикальную поверхность за отрезок времени τ :

$$\Delta G_{\text{налип.ст.}} = \sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot J_{\text{ст}} \quad (13)$$

Установлено, что увеличение массы слоя пыли на стеклянной вертикальной поверхности наблюдается при скоростях ветра, находящихся в диапазоне 3-7 м/с, при скорости ветра $V \geq 8$ м/с величина слоя пыли на стеклянной вертикальной поверхности становится постоянной (рисунок 3).

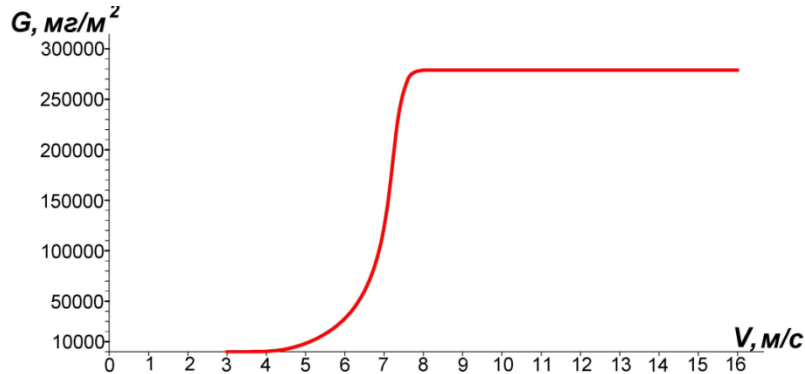


Рисунок 3 – Зависимость годового увеличения слоя пыли, вызванное её налипанием на стеклянную вертикальную поверхность, от скорости ветра при «положительном» направлении воздушного потока к вертикальной поверхности

2. Теоретический расчёт отрыва частиц пыли с вертикальных поверхностей.

Введём величину, характеризующую изменение толщины слоя пыли, которое вызвано отрывом её частиц с различных вертикальных поверхностей, наиболее характерных для городской среды. На небольшом интервале времени τ , например, в течение дня, предположим, что величины V и φ являются постоянными:

$$dG_{\text{отр}} = \gamma A_{\text{отр}} \cdot G_{\text{налип}} d\tau \quad (14)$$

где $G_{\text{налип}}$ – величина ранее налипшего слоя пыли на различных вертикальных поверхностях, убывающая, мг/м²; $\gamma A_{\text{отр}}$ – массовая доля частиц городской пыли, которые отрываются с поверхности, под действием ветра в единицу времени, отрицательная величина, 1/с: $\gamma A_{\text{отр}} = \frac{d\alpha_F}{d\tau}$.

Для примера произведём теоретический расчёт изменения величины слоя городской пыли на **стеклянной вертикальной поверхности**. Запишем полученную ранее регрессионную зависимость отрыва частиц городской пыли со стеклянной поверхности $\gamma A_{\text{отр.ст.}}$ от трёх случайных факторов (6) в общем виде:

$$\gamma A_{\text{отр.ст.}} = a_1 + a_2 \cdot G + a_3 \cdot V + a_4 \cdot \varphi + a_5 G^2 + a_6 \varphi^2 \quad (15)$$

где $a_1 = -0,99499$; $a_2 = 0,00012$; $a_3 = 0,000005$; $a_4 = -0,0074$; $a_5 = 0,000005$; $a_6 = 0,00376$.

В результате преобразований получим выражение для определения величины изменения слоя пыли на стеклянной вертикальной поверхности, вызванное отрывом её частиц:

$$\alpha_1 \cdot \ln \left| \frac{G}{G_0} - r_1 \right| + \alpha_2 \cdot \ln \left| \frac{G}{G_0} - r_2 \right| + \alpha_3 \cdot \ln \left| \frac{G}{G_0} \right| = \tau \quad (16)$$

где G_0 – величина слоя пыли на стеклянной вертикальной поверхности при $\tau=0$;

w_1, w_2 – корни квадратного трёхчлена $G^2 + b \cdot G + a$;

$$\alpha_1 = \frac{1}{k \cdot w_1 \cdot (w_1 - w_2)}; \alpha_2 = \frac{1}{k \cdot w_2 \cdot (w_2 - w_1)}; \alpha_3 = \frac{1}{k \cdot w_1 \cdot w_2}; k = a_5; r_1 = \frac{w_1}{G_0}; r_2 = \frac{w_2}{G_0}.$$

Так как разрешить данное уравнение относительно G не представляется возможным, то найдём решение данного уравнения графическим методом. На рисунке 4 представлена кривая, описывающая закономерность уменьшения первоначальной величины слоя пыли, равной $G_0=100$ мг/м², на стеклянной вертикальной поверхности при скорости ветра $V=4$ м/с и направлении воздушного потока к вертикальной поверхности по углом 20°.

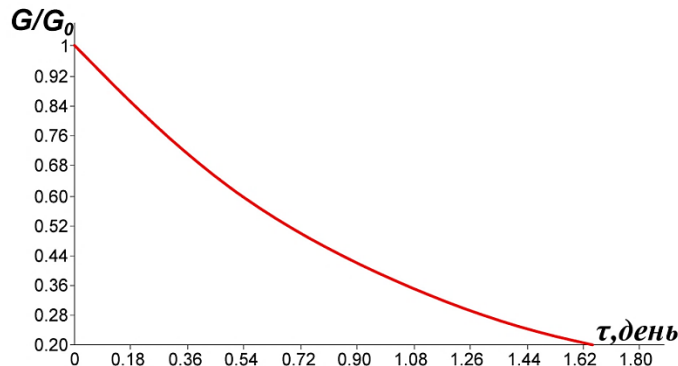


Рисунок 4 – Зависимость изменения величины слоя пыли, вызванное отрывом её частиц со стеклянной вертикальной поверхности, от времени при «отрицательном» направлении воздушного потока к вертикальной поверхности и $V=4$ м/с

На основании теоретических расчётов налипания и отрыва частиц пыли на городских вертикальных поверхностях, рассмотренных выше, получены расчётные значения загрязнения вертикальных поверхностей зданий, которые были сравнены с аналогичными натурными значениями. Наибольшее загрязнение исследуемых вертикальных поверхностей наблюдается с мая по сентябрь, что объясняется природно–климатическими особенностями г. Волгограда. Сравнение расчётных и натурных значений загрязнения вертикальных поверхностей зданий показало, что расчётные значения выше натурных во всех рассматриваемых случаях.

В пятой главе представлены методики расчёта текущего и прогнозирования будущего загрязнения зданий и сооружений. На основании данных методик разработана программа, работа которой основана на алгоритмах расчёта последовательного (рисунок 5) и суммарного (рисунок 6) загрязнения вертикальных поверхностей строительных объектов.

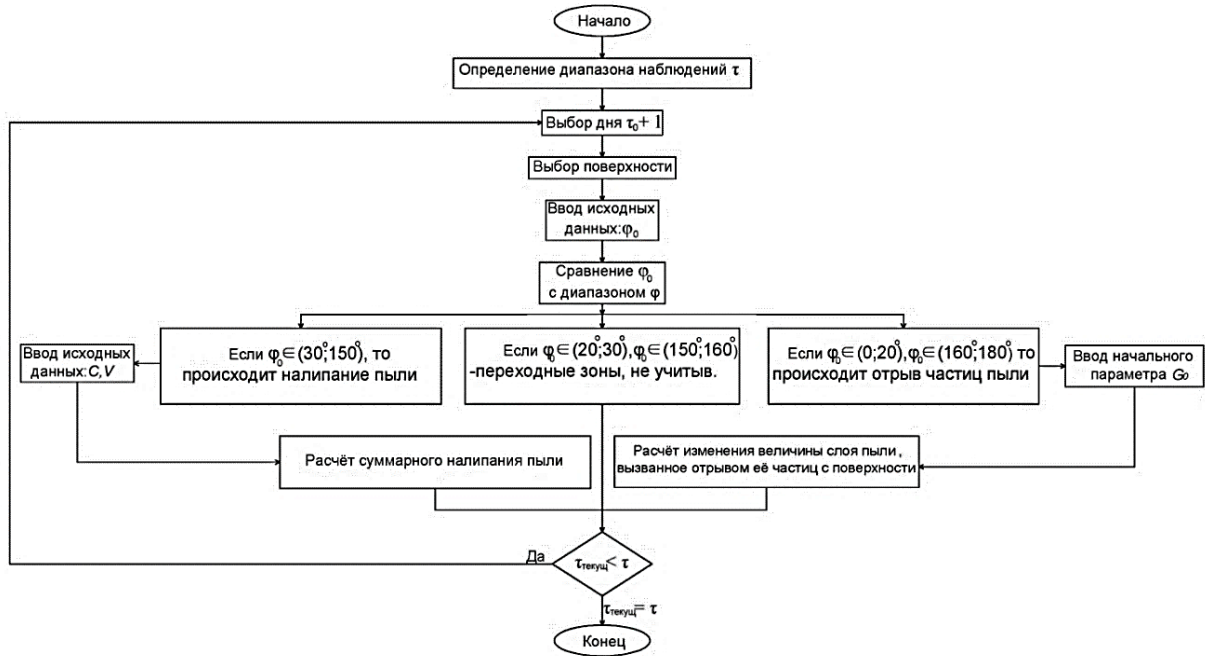


Рисунок 5 – Блок-схема программы для расчёта текущего загрязнения зданий

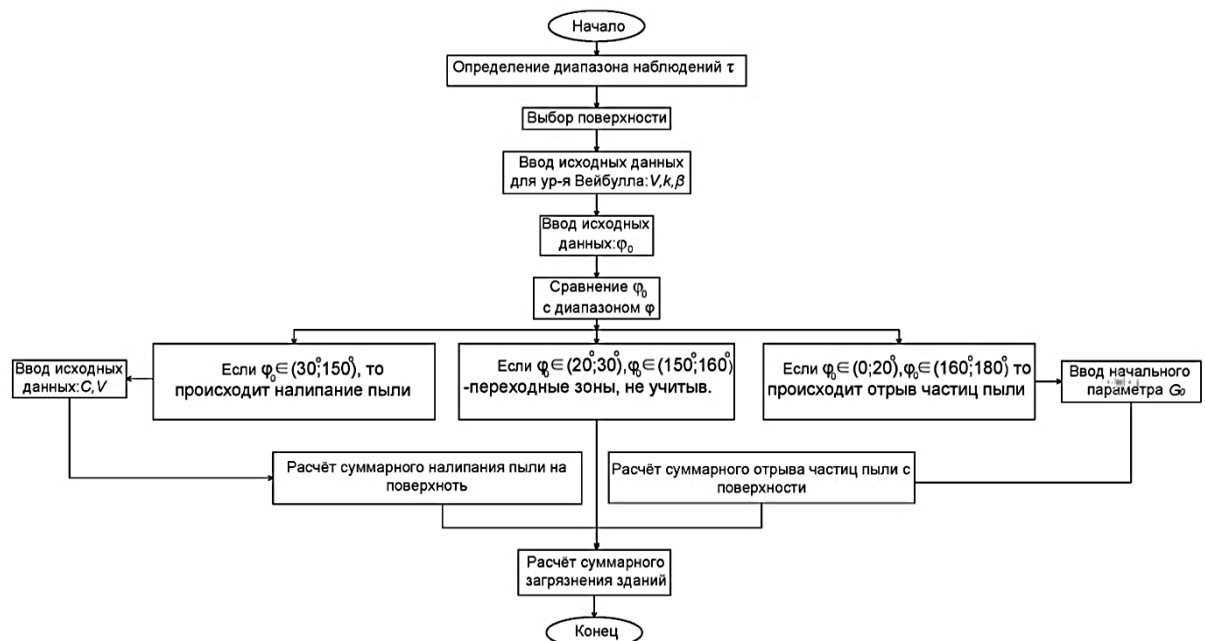


Рисунок 6 – Блок-схема программы для прогнозирования будущего загрязнения зданий

Для оценки степени загрязнения зданий необходимо учитывать не только рассмотренный ранее физический аспект ухудшения их внешнего вида, связанный с запылением фасадов строительных объектов, но и визуальный аспект, охватывающий зрительное и психоэмоциональное восприятие человеком окружающей его среды, который входит в сферу видеоэкологии. Предлагается использовать индивидуализированный вариант существующей «серой шкалы» (рисунок 7) путём её адаптации к колористическому решению отдельного здания.



Рисунок 7 – Шкала оценки степени загрязнения зданий

Согласно данной шкале, оценка степени загрязнения вертикальной поверхности производится по 10–бальной системе, где № 1 – поверхность после очистки или ремонта, № 10 – загрязнения превышают 70% всей площади вертикальной поверхности. Фасад считается приемлемо чистым, если внешний вид поверхности соответствует позициям шкалы №№ 1–5. Таким образом, установив соответствие между численными значениями загрязнения зданий и сооружений городской пылью, полученными на основании разработанных методик и программы (рисунки 5, 6), и шкалой, характеризующей степень визуального восприятия их загрязнений (рисунок 7), возможно произвести комплексную оценку состояния вертикальных поверхностей городской среды, а также сделать заключение о периодичности их очистки.

Методика расчёта текущего загрязнения, прогнозирования загрязнения зданий и сооружений в будущем, а также периодичности очистки их вертикальных поверхностей апробирована в следующих организациях: ООО «НПО Волгоградохранкультура» при разработке разделов научно–проектной документации на проведение работ по сохранению объектов культурного наследия; ООО «Управление Фасадремонт Волгоградгоргражданстрой» при выполнении работ по капитальному ремонту фасадов жилых домов г. Волгограда; ООО «Чистый мир» при проведении работ по очистке фасадов зданий. Методика, позволяющая прогнозировать запыление воздушной городской среды, внедрена в ООО «Экотехмониторинг» при выполнении разделов проектов ОВОС и ПДВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена исследованию закономерностей загрязнения вертикальных поверхностей зданий и сооружений содержащимся в воздухе атмосферным аэрозолем городской среды (ААГС). На основании результатов проведенных теоретических, экспериментальных и натурных исследований можно сделать основные выводы по работе:

1. В результате анализа литературных источников установлено, что вопросы, связанные с адгезией (налипанием и отрывом) частиц ААГС на вертикальных поверхностях зданий и сооружений, являются недостаточно изученными. Так как дисперсный состав ААГС не подчиняется логарифмически–нормальному закону распределения, использованному Зимоном А.Д. для характеристики процесса адгезии стеклянной пыли по числу адгезии, то применение зависимостей для расчёта числа адгезии ААГС должно быть основано на результатах экспериментальных исследований. Установлено, что дисперсный состав пыли, осевшей на вертикальных поверхностях зданий и сооружений, подчиняется усеченному логарифмически–нормальному закону распределения.

2. На основании экспериментальных исследований получены регрессионные зависимости массовой доли налипания и отрыва частиц городской пыли на оштукатуренной, окрашенной, стеклянной и металлической вертикальных поверхностях от таких факторов, как концентрация пыли в воздушном потоке, максимальный размер частиц, скорость и направление воздушного потока к вертикальной поверхности, величина ранее налипшего слоя пыли на вертикальных поверхностях (мг/м^2). Установлено, что при экспериментальных исследованиях налипания и отрыва частиц городской пыли наиболее значимыми являются такие климатические факторы, как скорость и направление воздушного потока к вертикальной поверхности. При отрыве частиц городской пыли, кроме данных факторов, особую значимость имеет величина ранее налипшего слоя пыли на вертикальных поверхностях.

3. Экспериментально доказано, что запыление вертикальных поверхностей городской среды осуществляется в «зоне устойчивого налипания» при направлении воздушного потока к вертикальной поверхности в диапазоне $30^\circ \div 150^\circ$, а отрыв частиц городской пыли с вертикальных поверхностей осуществляется «зонах устойчивого отрыва» при направлениях воздушного потока к вертикальной поверхности в диапазонах $0^\circ \div 20^\circ$ и $160^\circ \div 180^\circ$.

4. Получены расчётные формулы для определения значения годового загрязнения пылью наиболее характерных для городской среды вертикальных поверхностей: окрашенной, оштукатуренной, стеклянной, металлической.

5. Разработаны методики расчёта текущего и прогнозирования загрязнения пылью вертикальных поверхностей зданий и сооружений, расположенных в городской среде. Сравнение натурных и расчётных значений толщины слоя пыли на городских вертикальных поверхностях показало, что расчётные значения выше натурных, в том числе значения за месяц – не более, чем на 10%, значения за год – не более, чем на 7%.

6. На основании методик расчёта текущего загрязнения, а также прогнозирования загрязнения зданий и сооружений разработана программа, основанная на алгоритмах расчёта последовательного и суммарного загрязнения вертикальных поверхностей строительных объектов.

7. На основании совместного исследования физического и визуального аспектов загрязнения зданий и сооружений установлено соответствие между численными значениями загрязнения строительных объектов городской пылью, полученными на основании разработанных методик и программы, а также шкалой, характеризующей степень визуального восприятия загрязнения вертикальных поверхностей зданий. Это позволяет произвести комплексную оценку состояния фасадов зданий и сооружений, а также сделать заключение о периодичности их очистки.

8. Методика расчёта текущего загрязнения, прогнозирования загрязнения зданий и сооружений, а также периодичности очистки их вертикальных поверхностей апробирована в следующих организациях: ООО «НПО Волгоградохранкультура» при разработке разделов научно–проектной документации на проведение работ по сохранению объектов культурного наследия; ООО «Управление Фасадремонт Волгоградгоргражданстрой» при выполнении работ по капитальному ремонту фасадов жилых домов г. Волгограда; ООО «Чистый мир» при проведении работ по очистке фасадов зданий. Методика, позволяющая прогнозировать запыление воздушной городской среды, внедрена в ООО «Экотехмониторинг» при выполнении разделов проектов ОВОС и ПДВ.

В работе приведены практические рекомендации для сохранения внешнего облика зданий и сооружений, расположенных в городской среде, на основании которых возможно рассчитать текущее, а также прогнозировать загрязнение строительных объектов городским атмосферным аэрозолем.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертации заключаются в уточнении расчётных зависимостей загрязнения строительных объектов пылью,

содержащейся в атмосферном воздухе городской среды, а именно в расширении спектра исследуемых поверхностей фасадов зданий, сооружений и памятников архитектуры (их форм, свойств строительных и отделочных материалов, из которых они выполнены, климатических параметров, связанных с их местоположением), а также в уточнении методик расчёта текущего, прогнозирования будущего загрязнения строительных конструкций, оценки степени ухудшения их внешнего облика, позволяющих сделать заключение о периодичности очистки их фасадов.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

Работы, опубликованные в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных «Scopus» / «Web of Science»:

1. Kuzmichev, A. A. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning [Text] / A. A. Kuzmichev, V. F. Loboyko // Procedia Engineering.– Vol. 150.– 2016.– P. 2095-2101.
2. Kuzmichev, A. A. Computer – Based visual analysis of ecology influence on human mental health [Text] / N. Y. Orudjev, M. B. Lempert, I. Osaulenko N. A. Salnikova, A. A. Kuzmichev, A. G. Kravets // Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).– 2016.
3. Kuzmichev, A. A. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling [Text] / A. A. Kuzmichev, V. N. Azarov, A. V. Kuzmichev // MATEC Web of Conferences.– 2017.– Vol. 129.– 5 p.

Работы, опубликованные в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе данных «Chemical Abstracts Service»:

4. Kuzmichev, A. A. The Impact of Dust Particles on Cultural Heritage Objects in the Field of Environmental Mechanics [Text] / A. A. Kuzmichev, V. N. Azarov, I. V. Stefanenko // Applied Mechanics and Materials.– 2018.– Vol. 878.– P. 259-262.

Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях:

5. Кузьмичев, А. А. Загрязнённость строительных конструкций и памятников архитектуры как один из аспектов визуальной экологии [Текст] / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев // Социология города.– 2015.– № 2.– С. 76-86.
6. Кузьмичев, А. А. Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятие строительных конструкций и памятников архитектуры [Текст] / А. А. Кузьмичев, В. Н. Азаров // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии.– 2016.– № 1.– С. 86-96.
7. Кузьмичев, А. А. Совокупность физического и визуального аспектов при исследовании загрязнений строительных конструкций и памятников архитектуры [Текст] / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев // Социология города.– 2016.– № 3.– С. 28-42.

8. Кузьмичев, А. А. Методы создания комфортной визуальной среды города при реконструкции исторических зданий и сооружений [Текст] / А. А. Кузьмичев, В. Н. Азаров // Социология города.– 2017.– № 2.– С. 44-52.

9. Кузьмичев, А. А. Исследование закономерностей загрязнения строительных конструкций с помощью методов компьютерного моделирования [Текст] / А. А. Кузьмичев, В. Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура.– 2017.– № 50 (69).– С. 440-450.

10. Кузьмичев, А. А. Расчет интегрального массового коэффициента адгезии городской пыли на вертикальные поверхности зданий [Текст] / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев, Т. В. Соловьева // Строительство и техногенная безопасность.– 2018.– № 11(63).– С. 39-46.

11. Кузьмичев, А. А. Экспериментальные исследования адгезии городской пыли на вертикальные поверхности зданий [Текст] / А. А. Кузьмичев // Строительство и техногенная безопасность.– 2018.– № 11(63).– С. 33-38.

12. Кузьмичев, А. А. Исследование процессов адгезии и сдувания городской пыли на вертикальных поверхностях зданий [Текст] / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев, А. В. Кузьмичев, Т. В. Соловьева // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 год: науч. тр. РААСН.–Москва, 2019.–Т.2.–С.7-17.

Отраслевые издания и материалы конференций:

13. Кузьмичев, А. А. Характеристика внешних и внутренних атмосферных загрязнений, воздействующих на объекты культурного наследия [Электронный ресурс] / А. А. Кузьмичев // Современные научные исследования и разработки : электрон. журнал.– 2017.– № 5 (13).– С. 187-190.– Режим доступа: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/vypusk_513.pdf.

14. Кузьмичев, А. А. Об оценке влияния биоповреждений на строительные конструкции и методы борьбы с ними [Текст] / А. А. Кузьмичев // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов.– ВолгГАСУ.– Волгоград, 2015.– Вып. 6.– С. 34-35.

15. Кузьмичев, А. А. О проблемах визуальной экологии городской среды [Текст] / А. А. Кузьмичев // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов.– ВолгГАСУ.– Волгоград, 2015.– Вып. 6.– С. 35-37.

КУЗЬМИЧЕВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОГО АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ПАРАМЕТРОВ
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Подписано в печать 02.07.2019 г. Заказ № Тираж 100 экз. Печ. л. 1,0

Формат 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать плоская.

Институт архитектуры и строительства
Волгоградский государственный технический университет
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
Отдел оперативной полиграфии