

*На правах рукописи*



**ГУРОВА ОКСАНА СЕРГЕЕВНА**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПЕНОЙ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ**

05.26.01 - Охрана труда (строительство)

05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Волгоград - 2017

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

**Научный консультант**

доктор технических наук,  
профессор

**Беспалов Вадим Игоревич**

заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук,  
профессор, академик АН ЧР

**Батаев Дена Карим-Султанович**

директор, Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И.Ибрагимова Российской академии наук

доктор физико-математических наук, профессор

**Фирсов Константин Михайлович**

Профессор кафедры «Лазерная физика», ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

доктор технических наук,  
профессор, советник РААСН,  
академик АМАН

**Хежев Толя Амирович**

заведующий кафедрой «Строительное производство», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М.Бербекова

**Ведущая организация**

ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет имени В.Г.Шухова

Защита диссертации состоится 22 марта 2018 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 научно-технической библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Автореферат разослан

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Жукова  
Наталия Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Интенсивное развитие технологий промышленного производства ставят проблемы охраны труда и обеспечения экологической безопасности в ряд наиболее значимых задач на государственном уровне, решение которых связано непосредственно с обеспечением комфортных условий жизнедеятельности людей как в производственной, так и в городской среде. Одно из ведущих мест в общем перечне упомянутых задач принадлежит задачам обеспыливания воздуха.

Пылевые частицы антропогенного происхождения, во-первых, негативно воздействуют на организм работника, во-вторых, ухудшают производственно-технологическую обстановку, приводя к преждевременной порче зданий, сооружений, производственных машин и механизмов, а, попадая в воздушный бассейн городской среды, значительно повышают степень экологической опасности. Обладая в большинстве случаев высокой степенью токсичности, пыль может вызывать широкий круг профессиональных заболеваний, зачастую неизлечимых. Наибольшей болезнетворностью обладают пылевые частицы PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>. Кроме того, как правило, являясь взрыво-и пожароопасной, пыль наносит ощутимый материальный ущерб различным отраслям народного хозяйства.

Сопоставительный анализ технологических особенностей, а также условий образования и выделения пыли предприятий различных отраслей промышленности позволяет заключить, что основной вклад в уровень запыленности воздуха рабочих зон и воздушного бассейна населённых мест вносят также объекты строительства и предприятия по производству строительных материалов. Предприятиями строительной отрасли ежегодно выбрасывается в атмосферный воздух более 4 млн. тонн загрязняющих веществ, содержащих более 80 видов загрязняющих пылевых компонентов, в том числе 2,4 млн. тонн или 58% неорганической пыли, состоящей из мельчайших твёрдых частиц и оказывающих отрицательное влияние на окружающую городскую среду и ее жителей. Загрязнение воздуха является наиболее актуальной проблемой для заводов железобетонных изделий и конструкций (ЖБИиК), для которых характерна повышенная запылённость воздуха рабочих зон внутри производственных помещений и воздушного бассейна прилегающих территорий городских застроек. Наиболее распространенными источниками образования и пылевыведения на заводах ЖБИиК являются узлы перегрузки сыпучих материалов с конвейера на конвейер, либо с конвейера на другое технологическое оборудование, либо непосредственно различные виды конвейеров, относящихся к протяженным линейным источникам.

Именно поэтому, решение задач, связанных с обеспыливанием технологического сырья, воздуха рабочих зон и воздушного бассейна промышленных площадок заводов ЖБИиК на основе разработки и внедрения новых, более эффективных и энергетически экономичных инженерных способов и средств, является

одной из актуальных проблем в области обеспечения безвредных условий труда и экологической безопасности.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» по теме: «Создать и внедрить инженерные системы обеспечения чистоты воздуха в производственных помещениях и предупреждения загрязнения атмосферы промышленных площадок», по теме: «Разработка и внедрение в практику систем жизнеобеспечения в производственной и окружающей среде» в рамках комплексной научно-технической программы Министерства образования и науки РФ; по теме: «Совершенствование методических подходов к оценке динамики загрязнения воздушного бассейна территорий городских застроек с учетом региональных природно-климатических, градостроительных особенностей и характеристик источников загрязнения воздуха» в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, № государственной регистрации 5.4244.2011; по теме научно-образовательного проекта «Решение комплексных проблем по разработке методологии выбора комплекса высокоэффективных и экономичных градостроительных, технологических и специальных инженерных мероприятий по обеспечению экологической безопасности территорий городских застроек» в рамках Программы Стратегического развития университета на 2012-2016 гг., № государственной регистрации 01201365848; по теме: «Научное обоснование концепции и разработка методологии оценки, расчета и проектирования экологически эффективных и энергетически экономичных способов и средств снижения загрязнения выбросов предприятий строительной индустрии и объектов городского хозяйства для обеспечения экологической безопасности территорий населенных мест» в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, № государственной регистрации 114041840023.

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в изучение свойств пылевого аэрозоля, процессов снижения концентрации пыли в воздухе, совершенствование техники обеспыливания внесли: Азаров В.Н., Аверкин А.Г., Амерханов Р.А., Батаев Д.К.-С., Батулин В.В., Беспалов В.И., Богуславский Е.И., Бошняков Е.Н., Булыгин Ю.И., Бутаков С.Е., Вальдберг А.Ю., Гервасьев А.М., Гиббс В., Гильфанов А.К., Глузберг В.Е., Гращенков Н.Ф., Гримитлин М.И., Грин Х., Гуревич М.И., Дьяков В.В., Дмитрук Е.А., Журавлев В.К., Журавлев В.П., Зарипов Ш.Х., Забурдяев Г.С., Ищук И.Г., Кишин Б.Ф., Клебанов Ф.С., Коптев Д.В., Козлов П.А., Красовицкий Ю.В., Кудряшов В.В., Лейн В., Ливчак И.Ф., Лившиц Г.Д., Логачев И.Н., Логачев К.И., Луговской С.И., Лукьянов А.Б., Маклаков М.Д., Мензелинцева Н.В., Менковский М.А., Минко В.А., Нейков О.Д., Недин В.В., Никитин В.С., Олифер В.Д., Панов С.Ю., Перцев Н.В., Поздняков Г.А., Позин Г.М., Полосин И.И., Посохин В.Н., Потапов А.Д., Ребиндер П.А., Саранчук В.И., Сидоренко В.Ф., Слесарев М.Ю., Соу С., Спурной К., Страхова Н.А., Талиев В.Н., Уляшева В.М., Фирсов К.М., Фукс Н.А., Хежев Т.А., Цыцура А.А., Шаптала В.Г.,

Шварцман Л.А., Штокман Е.А., Штраус В. и многие другие.

Не смотря на это, вопросы, связанные с параметрами устойчивости и энергетическими характеристиками пылевого аэрозоля как дисперсной системы в процессе снижения запыленности воздушной среды, полностью до сих пор не выяснены. Кроме того, оценку энергетической экономичности реализации процесса гидрообеспыливания технологического сырья и воздуха пенным способом, как наиболее подходящего для предприятий стройиндустрии по технологическим требованиям, целесообразно выполнить на основе изучения энергетических параметров пылевого аэрозоля и пены как дисперсных систем. Для рационального управления процессом пылеподавления пеной необходимо также знать энергетические параметры пены в рассматриваемых производственно-технологических условиях.

### **Цель и задачи работы.**

**Целью** работы является обеспечение безвредных условий труда в рабочих зонах предприятий строительной индустрии, а также экологически безопасных условий, благоприятных для жизнедеятельности населения городских территорий, на основе совершенствования метода оценки и выбора высокоэффективных и энергетически экономичных инженерных систем обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха.

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

- выявить основные факторы и источники загрязнения воздушной среды городских территорий, характерные для предприятий строительной индустрии;
- изучить особенности состояния воздушной среды в рабочих зонах заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- определить и описать энергетические характеристики процессов и явлений, наблюдаемых в пылевых аэрозолях, образующихся и выделяющихся в воздушную среду на заводах по изготовлению железобетонных конструкций, а также оценить влияние этих особенностей на условия реализации процесса обеспыливания воздуха;
- выполнить анализ современного состояния теории и практики обеспыливания технологического сырья и воздуха пенным способом, включая технологические особенности получения пены, её основные свойства и условия пенообразования, а также известные методические подходы к оценке и выбору оптимальных для заданных производственных условий технологий обеспыливания пеной;
- разработать алгоритм реализации физико-энергетического подхода к оценке и выбору оптимальных для заданных производственных условий технологий обеспыливания пеной на основе построения физических моделей процессов загрязнения и снижения загрязнения технологического сырья и воздуха для основных технологических процессов на заводах по изготовлению железобетонных конструкций;

- получить параметрические зависимости эффективности и критерия энергетической экономичности процесса обеспыливания пеной воздуха и технологического сырья для условий эксплуатации ленточных транспортёров;
- разработать методику оценки и выбора экологически эффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной на этапах пылезадержания (экранирования), очистки воздуха от пыли и рассеивания пыли в атмосфере;
- на основе разработанной методики выполнить теоретические расчеты и определить области существования значений критериев санитарно-гигиенической и экологической эффективности, а также энергетической экономичности различных технологий обеспыливания пеной для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- провести экспериментальные исследования результирующих параметров различных технологий обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- выполнить сопоставление результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными и оценить возможность практического использования разработанной методики;
- выполнить практическую апробацию методики оценки и выбора максимально эффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной при эксплуатации и реконструкции заводов по изготовлению железобетонных конструкций, а также при проведении научных исследований и в учебном процессе.

**Научная новизна** наиболее существенных результатов работы и их значимость состоят в том, что:

- установлены энергетические закономерности процессов образования, распространения и разрушения пены в зависимости от технологии пенообразования и аэродинамических условий распространения пены в двух различных состояниях (пенный аэрозоль и пенный слой), роль и влияние энергетических параметров пылевого аэрозоля и пены на результат реализации процесса обеспыливания пеной, зависимости их от физико-химических и производственно-технологических характеристик, а также возможность оценки и выбора оптимальной технологии обеспыливания пеной на основе этих параметров;
- изучены особенности процесса обеспыливания пеной на источниках пылевыделения с различными аэродинамическими характеристиками (открытые источники и вентиляционные системы) для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций с применением различных составов пенообразующего раствора, а также выделены граничные значения гидроаэродинамических параметров и области преимущественного использования различных технологий обеспыливания пеной и составов пенообразующего раствора;

- для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций получены функциональные зависимости, описывающие основные параметры пены и пылевого аэрозоля на этапах пылезadržания, очистки воздуха от пыли и рассеивания пыли в атмосфере на основе выявления взаимосвязи между энергетическими параметрами процесса обеспыливания, физико-химическими параметрами пылевого и пенного аэрозолей, а также параметрами, характеризующими воздушную среду;
- установлены зависимости эффективности обеспыливания пеной от параметров, характеризующих свойства пылевого аэрозоля, пены и воздушного потока, с учётом производственно-технологических условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- выполнено математическое описание процесса рассеивания в воздухе пыли пенным способом на основе установления функциональных зависимостей экологической эффективности и энергоёмкостного показателя от параметров, характеризующих свойства пылевого, пенного аэрозолей и воздушной среды в зоне источника выброса пыли в воздушный бассейн городской среды;
- получены зависимости энергоёмкостного показателя процесса обеспыливания пеной от основных технологических параметров получения пены и параметров её взаимодействия с пылью для рассматриваемых производственно-технологических условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- выполнено математическое описание физических процессов обеспыливания пеной, которое позволяет оценивать и прогнозировать работу различных его технологических видов (пенным аэрозолем и пенным слоем) без предварительной реализации их на практике и эмпирического подбора оптимальных рабочих параметров.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в следующем:

- получены теоретические и эмпирические зависимости эффективности и удельной затраченной энергии реализации процесса обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха на основе теории подобия с учётом наиболее значимых для практики параметров: скорости движения воздуха в зоне источника пылевыделения, поверхностного натяжения раствора пенообразователя и ряда других, которые позволяют выполнять сопоставительную оценку предварительно выбранных вариантов технологий рассматриваемого процесса для заводов по изготовлению железобетонных конструкций;
- на основе получения функциональных зависимостей результирующих параметров процесса пылеподавления разработана методика оценки и выбора высокоэффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной, использующая в качестве критериев оптимизации эффективность и энергоёмкостный показатель, позволяющая также выполнять расчёт рациональных пара-

метров пенного способа для конкретных источников пылевыведения на заводах по изготовлению железобетонных конструкций с учетом обеспечения ПДК пыли в воздухе рабочих зон и приземном слое атмосферы городских территорий;

- в результате проведенных исследований разработаны рекомендации по совершенствованию процесса обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха для заводов по изготовлению железобетонных конструкций с целью максимально экономичного обеспечения нормативной запыленности воздуха рабочих зон и приземного слоя атмосферы городских территорий для случаев, когда известные инженерные решения не позволяют реализовать на практике оптимальные расчётные параметры рассматриваемого процесса;

- разработаны конструкции: устройства регенерационной очистки загазованного воздуха (патент на изобретение № 2144434), устройства регенерационной очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли (патент на изобретение № 2156643), устройства очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли (патент на полезную модель № 137210), устройства для очистки вентиляционного воздуха (патент на полезную модель № 139077), устройства для очистки воздуха от пыли (патент на полезную модель № 145908), аппарата гидродинамической очистки газов (патент на полезную модель № 146368), устройства для улавливания и связывания пыли «ОТУО-2-3» (патент на полезную модель № 154725), устройства для улавливания и связывания пыли (патент на полезную модель № 169050), устройства для улавливания и связывания пыли (патент на полезную модель № 170041), устройства для улавливания и связывания пыли (патент на полезную модель № 170041) обеспечивающие высокую эффективность пылезадержания (экранирования) и очистки воздуха от пыли на основе пенного способа;

- разработана программа «GEEPSUOR» для ЭВМ (свидетельство о государственной регистрации № 2016613157), позволяющая для заданных условий производства заводов по изготовлению железобетонных конструкций выполнять аналитическое моделирование и расчёт рабочих параметров пенного способа, на основе чего выбирать оптимальную технологию обеспыливания пеной и определять соответствующие ей рабочие параметры для этапов пылезадержания, очистки воздуха от пыли и принудительного рассеивания пыли в атмосфере с учётом обеспечения максимальной эффективности (до значений ПДК<sub>рз</sub> и ПДК<sub>мр(сс)</sub>) и энергетической экономичности.

**Методология и методы исследования** базировались на аналитическом обобщении известных научных и технических результатов, физическом и математическом моделировании, обработке экспериментальных данных методами теории подобия и математической статистики, сопоставлении полученных автором результатов экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных условиях, с соответствующими теоретическими результатами, а также с результатами, полученными другими авторами.



### **Положения, выносимые на защиту:**

- процесс взаимодействия пены с пылевым аэрозолем, включающий три этапа его реализации – пылезадержание, очистку воздуха от пыли и рассеивание пыли в атмосфере, с учетом взаимного действия в качестве основных таких сил как: гидродинамические, аэродинамические, поверхностные и межмолекулярные, а также преобладающей роли энергетических параметров, определяемых влиянием физико-химических свойств взаимодействующих фаз, а также характеристиками производственно-технологических условий;
- свойства пены и аэрозоля, содержащего пылевые частицы, при их взаимодействии определяются технологией пенообразования и условиями пылевыведения, на основании чего установлены зависимости этих параметров (диаметра пенного пузырька, толщины пленок в пене, плотности пены, критических значений скорости встречи частиц с пузырьками, времени их динамического соприкосновения, упругого взаимодействия, смачивания и других) от комплексного влияния конструктивных и технологических характеристик процесса получения пены, аэродинамической обстановки в зоне пылевыведения, свойств пенообразующего раствора и пылевого материала;
- рассеивание в атмосфере пыли пеной можно однозначно характеризовать оценочным энергоёмкостным показателем, непосредственно связанным с экологической эффективностью и с параметрами, характеризующими состояние воздушной среды, а также технологические и производственные условия заводов по изготовлению железобетонных конструкций; при этом анализ такой функциональной взаимосвязи позволяет для процесса рассеивания в атмосфере пыли пеной определить пути его дальнейшего совершенствования;
- математические зависимости результирующих параметров процесса обеспыливания пеной технологического сырья и воздушной среды, полученные на основе описания энергетических параметров пены и пыли, а также различных условий пылевыведения и пенообразования, позволяют оценивать различные технологии обеспыливания пеной по критериям санитарно-гигиенической и экологической эффективности, а также по критерию энергетической экономичности (энергоёмкостному показателю).

### **Степень достоверности и апробация результатов.**

**Степень достоверности** представленных в работе основных научных положений, сформулированных выводов и разработанных рекомендаций обоснована применением фундаментальных основ теории дисперсных систем, механики аэрозолей, теории подобия, а также современных методик проведения научных исследований, сходимостью полученных автором результатов теоретических и экспериментальных исследований в пределах относительной погрешности  $\Delta C = \pm 13,26\%$  для измерений эффективности и  $\Delta N = \pm 9,7\%$  для измерений затраченной энергии с доверительной вероятностью 0,95 и получением прогнозируемых результатов в

практической реализации.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на: международной научно–практической конференции «Экология и регион» (г.Ростов-на-Дону, 1995 г.), международной научно-технической конференции «Проблемы охраны производственной и окружающей среды» (г.Волгоград, 1997 г.), международной школе-семинаре «Промышленная экология» (пос.Абрау-Дюрсо, 1998 г.), международной школе-семинаре «Промышленная экология» (г.Ростов-на-Дону, 2000 г.), международной научно-практической конференции «Здоровье города – здоровье человека» (г.Ростов-на-Дону, 2001 г.), международной конференции Департамента по охране окружающей среды Южного региона (г.Ростов-на-Дону, 2001 г.), международной научно-практической конференции «Экология и жизнь» (г.Пенза, 2012 г.), международной научно-практической конференции "Наука и образование в 21 веке» (г.Москва, 2013 г.), международной научно-практической конференция «Фундаментальные проблемы науки» (г.Уфа, 2013 г.), ежегодных международных научно-практических конференциях «Строительство» (г.Ростов-на-Дону, 1997-2014 гг.), всероссийской научно-практической конференции «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности» (г.Санкт-Петербург, 2000 г.), научно-практической конференции «БЖД, XXI век» (г.Волгоград, 2001).

**Основная идея работы** заключается в использовании физико-энергетического подхода к описанию основных характеристик пылевого аэрозоля и воздействующей на него пены для формализации критериев и разработки методики оценки и выбора высокоэффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной.

**Вкладом автора в проведенное исследование** являются:

- непосредственное участие на всех этапах исследования как процесса загрязнения, так и процесса снижения загрязнения воздушной среды применительно к условиям эксплуатации ленточных транспортёров на предприятиях строительной индустрии;
- разработке физических моделей процессов загрязнения и снижения загрязнения воздушной среды для условий эксплуатации ленточных транспортёров предприятий строительной индустрии;
- получение новых функциональных зависимостей санитарно-гигиенической и экологической эффективности, а также энергоёмкостного показателя этапов пылезадержания, очистки воздуха от пыли и рассеивания пыли в атмосфере как основных составляющих процесса обеспыливания технологического сырья и воздуха на предприятиях строительной индустрии;
- разработка методики оценки и выбора оптимальных для заданных производственных условий технологий обеспыливания пеной, расчёте их оптимальных рабочих параметров, а также создании алгоритма её реализации применительно к

условиям эксплуатации ленточных транспортёров на предприятиях строительной индустрии;

- проведение экспериментальных исследований результирующих параметров различных технологий обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций, а также в сопоставлении результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными и оценке возможности практического использования разработанной методики;

- личное участие в практической апробации результатов выполненных исследований;

- подготовка основных публикаций по результатам выполненных исследований.

**Реализацию результатов работы** характеризуют:

- разработанные на основании результатов оценки и выбора оптимальных технологий обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха, проведенных по предложенной автором методике, а также практически применённые рекомендации по улучшению условий труда на рабочих местах, повышению санитарно-гигиенической эффективности, степени экологической безопасности и энергетической экономичности систем пылеподавления для предприятий строительной индустрии;

- внедренные способы организации и технологии обеспыливания пеной производственного сырья и воздуха на ПАО «Комбинат строительных материалов (КСМ) №10 (г. Ростов-на-Дону), ООО «Завод строительного оборудования» (г. Ростов-на-Дону), ПАО «Мостожелезобетонконструкция» Батайский завод МЖБК (г. Батайск Ростовской области) и ЗАО «Ростовский Завод Железобетонных Конструкций» (г. Ростов-на-Дону);

- использованные Комитетом по охране окружающей среды Администрации г. Ростова-на-Дону результаты исследований при разработке Целевой экологической программы «Оздоровление воздушного бассейна г. Ростова-на-Дону»;

- использованные результаты исследований в учебном процессе кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам: «Безопасность жизнедеятельности», «Теоретические основы защиты окружающей среды», «Процессы и аппараты защиты окружающей среды», «Механика многофазных сред», «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности».

**Публикации.** Основные результаты, полученные в результате исследований по теме диссертационной работы, изложены в 75 публикациях, в том числе: в 2 монографиях, 62 научных статьях, в том числе 20 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК России, 7 статьях, индексируемых в научной базе «Scopus», 10 патентах на изобретения и полезные модели, а также в 1 свидетель-

стве о государственной регистрации программы для ЭВМ и в научно-технических отчетах.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа включает введение, пять глав, выводы, список литературы и приложения. Общий объем работы составляет 287 страниц, включая 244 страниц основного машинописного текста, включающего 6 таблиц и 37 рисунка, список литературы, состоящий из 210 наименований и изложенный на 24 страницах, а также 13 приложений, изложенных на 19 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Определена концепция диссертационной работы и методологическая база исследований.

**Первая глава** посвящена анализу процессов образования и выделения пыли на предприятиях строительной индустрии, а также основных источников пылевого загрязнения воздушной среды городских территорий, характерные для предприятий строительной индустрии. Обоснован выбор теоретического подхода к описанию процессов пылевого загрязнения и обеспыливания воздушной среды предприятий стройиндустрии, в том числе, заводов ЖБИиК, где наиболее значимым негативно воздействующим фактором является пыль с различными свойствами, которая в наибольших количествах выделяется в воздух рабочих зон, а также в воздушный бассейн городских территорий от конвейерных линий, имеющих ряд особенностей, к числу которых относятся их протяженность, динамичность, периодичность работы и другие.

Применительно к условиям эксплуатации заводов ЖБИиК в качестве наиболее близкого по цели теоретического описания за основу выбран физико-энергетический подход, связанный с оценкой и сравнением различных технологий обеспыливания воздуха на основе двух оптимизационных критериев: эффективности снижения концентрации пыли и энергоемкостного показателя, характеризующего энергетическую экономичность процесса обеспыливания.

Разработанная нами балансовая схема материальных потоков и пооперационное изучение технологического процесса производства железобетонных изделий и конструкций позволили заключить, что наиболее значимым по вкладу в загрязнение воздушной среды является участок приготовления бетонной смеси, а наиболее значимыми источниками образования и выделения пыли на этих технологических участках являются наклонные ленточные транспортёры и их узлы перегрузки (превышение нормативных значений концентрации неорганической пыли с содержанием  $\text{SiO}_2 > 70\%$  – до 15 ПДК<sub>рз</sub>, в надбункерном помещении – 4,5-5 ПДК<sub>рз</sub>, в отделении дозирования рабочей смеси – 4-8 ПДК<sub>рз</sub>).

В соответствии с выбранным за основу исследований физико-энергетическим подходом для определения основных характеристик процесса обеспыливания воздуха на участках эксплуатации ленточных транспортёров нами предварительно:

- изучены особенности и этапы процесса пылевого загрязнения воздушной среды, когда часть технологического сырья (песка, либо щебня) трансформируется в загрязняющее вещество (пыль песка, либо пыль щебня);
- выделены основные физические объекты, вступающие во взаимодействие с пылевыми частицами на этапах их образования, выделения (внутреннего и внешнего), а также распространения (внутреннего и внешнего);
- построена блок-схема (рисунок 1) физической модели процесса пылевого загрязнения воздушной среды для ленточного транспортёра БСУ завода ЖБИиК, иллюстрирующая перечисленные этапы реализации этого процесса.

Выполненный нами анализ участвующих в процессе загрязнения воздушной среды БСУ заводов ЖБИиК и представленных на рисунке 2 объектов позволил определить их основные характеристики (таблицы 1, 2, 3, 4).

В случае необходимости получения более точных оценок вместо среднего медианного диаметра  $d_{43/4}$  целесообразно использовать дисперсный состав пыли, который для рассматриваемых видов пыли представлен на рисунке 2.

Результаты многолетних наблюдений и аттестации рабочих мест на рассматриваемых технологических участках различных заводов ЖБИиК на территории Российской Федерации позволяют заключить, что фактические значения параметров микроклимата находятся в пределах значений, представленных в таблице 3.

Производственное помещение в данном случае представляет собой галерею транспортёра и характеризуется: геометрией (высотой  $h_n$  помещения, его шириной  $b_n$  и длиной  $l_n$ ); конструкцией (координатами и отметками характерных точек наружных и внутренних стен, проемов в них, типом и отметками кровли); категорией взрывопожароопасности «Д»; типом зоны молниезащиты «Б».

Воздух приземного слоя атмосферы (ПСА) характеризуется: температурой, влажностью, скоростью движения (подвижностью), а также количеством выпадающих осадков, атмосферным давлением и направлением ветра, значения которых изменяются в широком диапазоне значений и являются переменными в зависимости от погодно-климатических условий местности, а также периода года.

Структура физической модели процесса загрязнения воздушной среды для типового ленточного транспортёра марки ЛК-Ж на БСУ заводов ЖБИиК раскрывает взаимосвязь между основными объектами, участвующими в процессе загрязнения воздушной среды при их эксплуатации, и дает возможность предложить структуру физической модели процесса снижения загрязнения (обеспыливания).

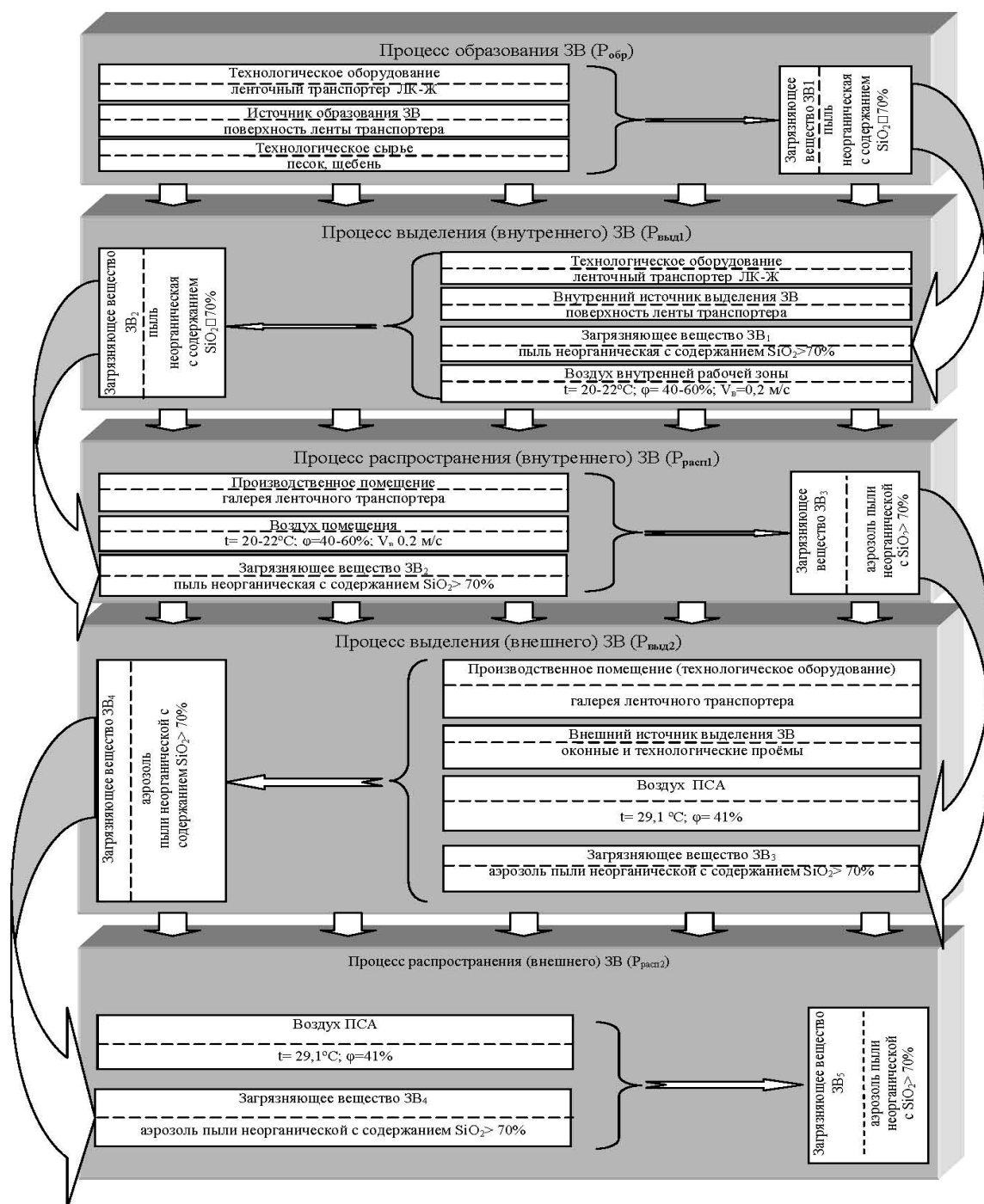


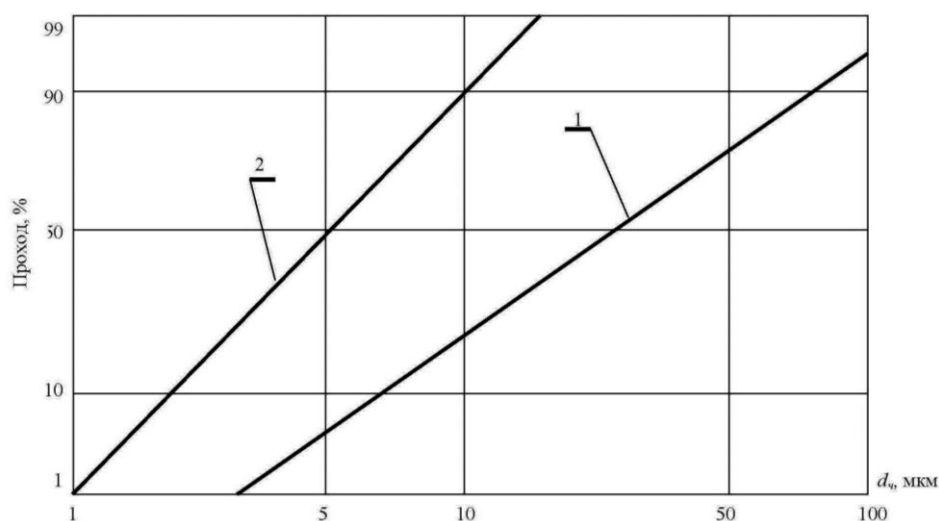
Рисунок 1 - Блок-схема физической модели процесса загрязнения воздушной среды для типового ленточного транспортера марки ЛК-Ж на БСУ заводов ЖБИиК

Таблица 1- Характеристики технологического сырья БСУ

Наименование материала	Размер фракции, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Требуемая влажность, %	Расход, т/год
Щебень	3-20	1 250-1 550	3,5-5,0	10 000-30 000
Песок	1,0-1,15	1 020-1 200	5,0-7,5	5 000-15 000

Таблица 2 - Характеристики типовых для БСУ ленточных транспортёров

Наименование оборудования	Марка (наиболее часто применяемая)	Размеры, мм			Ширина ленты, мм	Скорость ленты, м/с	Производительность, кг/с
		длина	ширина	высота			
ленточный транспортёр	ЛК-Ж	54000	750	650	500	0,8	50-60



1- пыль песка; 2- пыль щебня

Рисунок 2 - Дисперсный состав пыли песка и пыли щебня (неорганической пыли с содержанием  $\text{SiO}_2 > 70\%$ )

Таблица 3 - Фактические значения параметров микроклимата в рабочей зоне наклонных ленточных транспортёров и их узлов перегрузки участков приготовления бетонной смеси заводов ЖБИиК

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	8-18	45-75	0,2-0,4
Теплый	22-28	35-60	0,4-0,6

Таблица 4 - Нормативные значения параметров микроклимата в рабочей зоне наклонных ленточных транспортёров и их узлов перегрузки участков приготовления бетонной смеси заводов ЖБИиК

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	оптимальные	допустимые	оптимальные	допустимые	оптимальные	допустимые
Холодный	17-19	15-21	40-60	<75	0,2	≤0,4
Теплый	22-23	16-27	40-60	<75	0,3	0,2-0,5

**Во второй главе** описана структура физической модели процесса снижения загрязнения воздушной среды для рассматриваемых технологических участков, сущность которой заключается в представлении совокупности последовательно и целенаправленно реализуемых этапов процесса снижения загрязнения на каждом соответствующем этапе процесса загрязнения (рисунок 3). Проведен системный анализ современного состояния теории и практики обеспыливания технологического сырья и воздуха в рабочей зоне ленточных транспортёров БСУ заводов ЖБИиК. Исследованы технологические особенности получения пены, её основные свойства и условия пенообразования, что позволило выделить пенный способ как наиболее экономичную технологию борьбы с пылью в рассматриваемых производственно-технологических условиях.

Математически физическая модель снижения загрязнения воздушной среды с учетом возможности реализации соответствующих зависимых последовательных событий может быть выражена следующей формулой:

$$\chi_{сз} = 1 - (1 - \chi_{OC}) \cdot (1 - \chi_{OB}) = 1 - [1 - (1 - \chi_C)(1 - \chi_3)] \times [1 - \chi_Y(1 - \chi_O)(1 - \chi_P)] \quad (1)$$

характеризующей вероятность процесса снижения загрязнения атмосферы ( $\chi_{сз}$ ) как совокупность вероятностей протекания двух циклов:

- снижения загрязнения исходного технологического сырья (технологического оборудования) ( $\chi_{OC}$ ), включающего этапы связывания ЗВ ( $\chi_C$ ) и задержания ЗВ ( $\chi_3$ );
- снижения загрязнения воздуха ( $\chi_{OB}$ ), включающего этапы улавливания ЗВ ( $\chi_Y$ ), очистки воздуха от ЗВ ( $\chi_O$ ) и рассеивания ЗВ в атмосфере ( $\chi_P$ ).

При этом процесс снижения загрязнения, включающий два основных цикла, рассматривается как комплекс последовательного направленного воздействия «дополнительными» дисперсными системами на «исходные» и «промежуточные» «остаточной П-4» дисперсных системах. В процессе снижения загрязнения воздушной среды происходит перераспределение: параметров свойств (ПС), энергетических параметров ( $W_a$ ) и устойчивости ( $U$ ) всех взаимодействующих дисперсных систем. Иллюстрация трансформации дисперсных систем и изменения их устойчивости в процессе снижения загрязнения воздушной среды представлена на рисунке 4. Необходимость реализации каждого последующего этапа зависит, прежде всего, от эффективности реализации предыдущего этапа. Причем, чем меньше этапов будет включать весь процесс, тем более экономичным он будет и тем меньше энергии потребуется на его реализацию.

Построенная физическая модель процесса снижения загрязнения воздушной среды положена в основу описания эффективности и энергетической экономичности (энергоемкостного показателя) обеспыливания как результирующих параметров процесса.



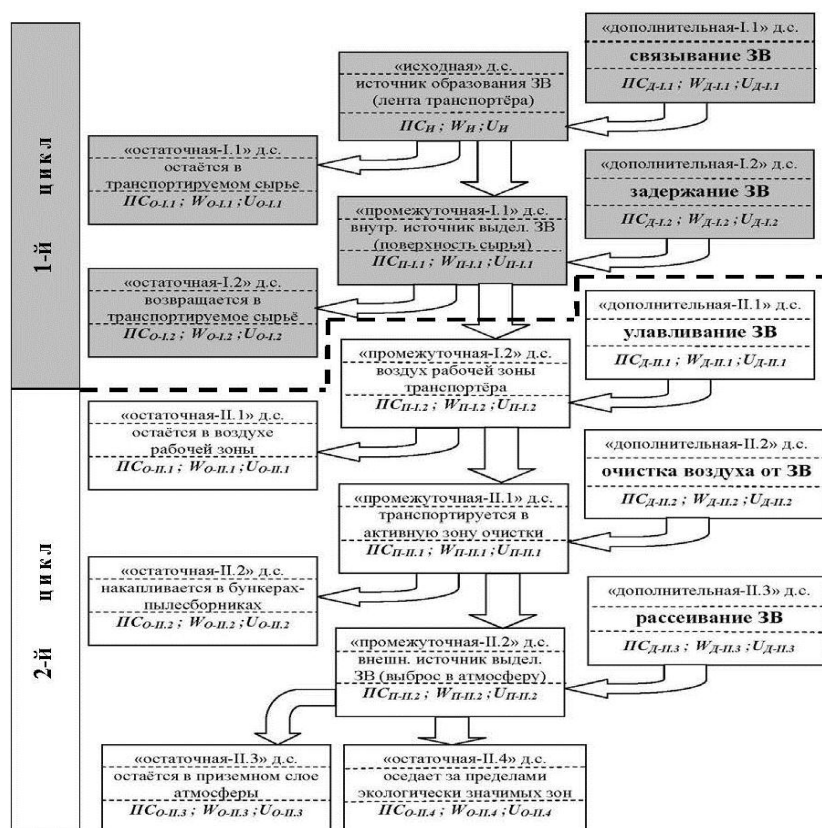


Рисунок 3 - Блок-схема физической модели процесса снижения загрязнения воздушной среды для типового ленточного транспортёра марки ЛК-Ж на БСУ заводов ЖБИиК

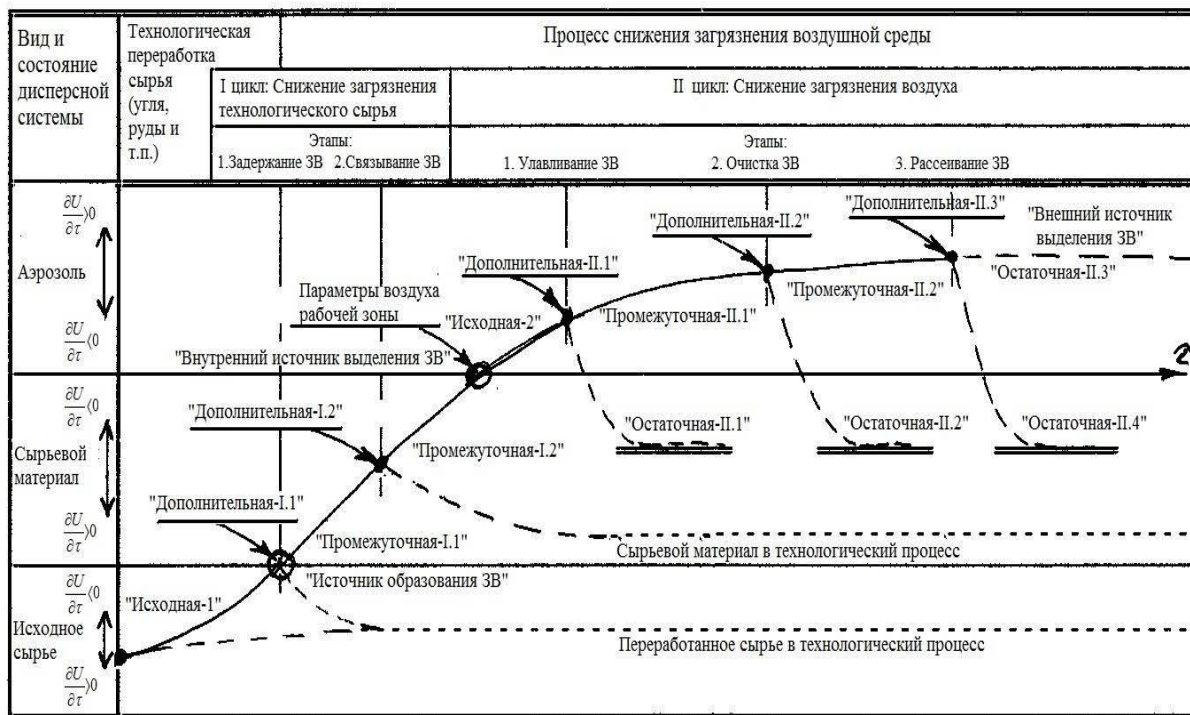


Рисунок 4 – Схема трансформации дисперсных систем в процессе снижения загрязнения воздушной среды

Так, с учетом формулы (1) зависимость эффективности в общем виде можно представить следующим образом:

$$E_{эф(CЗ)} = 1 - [1 - (1 - E_{эф-C})] \cdot (1 - E_{эф-З}) \cdot [1 - E_{эф-Y} (1 - E_{эф-O}) \cdot (1 - E_{эф-P})], \quad (2)$$

где  $E_{эф-C}$ ,  $E_{эф-З}$ ,  $E_{эф-Y}$ ,  $E_{эф-O}$ ,  $E_{эф-P}$  - соответственно эффективности реализации процессов связывания ЗВ, задержания ЗВ, улавливания ЗВ, очистки воздуха от ЗВ и рассеивания ЗВ.

В используемом физико-энергетическом подходе под энергоемкостным показателем  $E^Э$  (%) понимается отношение удельной энергии  $W$  (Вт), расходуемой на достижение цели процесса снижения загрязнения воздушной среды в целом и отдельных его этапов, к удельной энергии  $N$  (Вт), расходуемой на создание направленных внешних воздействий на загрязняющий аэрозоль. При этом в общем виде зависимость энергоемкостного показателя может быть представлена следующим образом:

$$E^Э = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \cdot 100, \% , \quad (3)$$

где  $i$ -соответствующий этап взаимодействия «исходной» системы с «дополнительными» на рассматриваемом этапе процесса снижения загрязнения воздушной среды.

Среди широко применяемых технологий пылеподавления на ленточных транспортерах особого внимания заслуживает пенный способ, имеющий ряд существенных преимуществ, которые однако могут быть реализованы в полной мере только в случае обеспечения его оптимальных технологических (рабочих) параметров. Эффективность процесса обеспыливания пеной во многом зависит от ряда условий: типа источника пылеобразования, его геометрических характеристик, интенсивности пылевыведения и других, а также технологических характеристик пеногенераторных установок, принятой схемы пылеподавления и свойств получаемой пены.

Процесс гетерокоагуляции частицы пыли пузырьком пены можно рассматривать многостадийным, причем максимальная эффективность обеспыливания проявляется при налипании пылевых частиц на поверхность пузырьков пены без их разрушения. Эти условия связаны с существованием максимальной ( $v_{max}$ ) и минимальной ( $v_{min}$ ) скоростей встречи пылинки и пузырька, определяемых соответственно по формулам:

$$v_{max} = -\sqrt{\frac{6W_p}{\rho_q r_q}} , \text{ м/с ;} \quad (5)$$

$$v_{\min} = -\sqrt{\frac{6W_a}{\rho_q r_q}}, \text{ м/с}, \quad (6)$$

где  $W_p$  – параметр, характеризующий энергию растекания, Н/м;  $W_a$  – работа сил адгезии, Н/м;  $\rho_q$  – плотность материала частицы пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $r_q$  – средний радиус частицы пыли, м.

При скоростях, меньших  $v_{\min}$ , частицы пыли обтекают пузырек пены, а при скоростях больших  $v_{\max}$ , наблюдается механический разрыв пленки пузырька пены летящей частицей пыли. Если  $v_g \approx v_{\max}$ , в процессе захвата пылевой частицы преобладает инерционная составляющая, а когда  $v_g \approx v_{\min}$  – адгезионная.

Кроме кратности и стойкости важными характеристиками пены также являются: плотность пены, её дисперсность, теплопроводность, электропроводность, ряд структурно-механических характеристик, оптические параметры, а также критерий Дьяконова  $D_1$  и критерий Журавлева  $D_2$ . В зависимости от технологии образования пены применяют два основных вида пылеподавления: пенным слоем и пенным аэрозолем.

Для накопления определенного слоя пены на поверхности транспортируемого сырья необходимо, чтобы кроме требуемой производительности пеногенератора скорость воздушного потока в зоне ленточного транспортера не превышала скорости выхода пены из горловины пеногенератора ( $v_n \geq v_{en}$ ).

Для получения пенного аэрозоля при распыливании раствора пенообразователя различными типами форсунок создают давление 0,2÷0,3 МПа, когда формируется весьма стабильный факел со средней скоростью вылета пузырьков около 30 м/с.

Выполненный этап исследований позволяет перейти к разработке алгоритма реализации физико-энергетического подхода к оценке и совершенствованию методики выбора оптимальных для заданных производственных условий технологий обеспыливания пеной. Дальнейшие исследования проведём на примере ленточных транспортёров ЖБИИК.

**В третьей главе** получены математические зависимости, описывающие основные параметры пены и пылевого аэрозоля на этапах пылезадержания и очистки воздуха от пыли на основе выявления взаимосвязи между энергетическими параметрами процесса обеспыливания и физико-химическими параметрами пены; установлены зависимости, раскрывающие взаимосвязь между физико-химическими параметрами пылевого и пенного аэрозолей, а также параметрами, характеризующими воздушную среду, на этапе рассеивания пыли; установлены зависимости эффективности и энергоёмкостного показателя обеспыливания пеной от параметров, характеризующих свойства пылевого аэрозоля, пены и воздушного потока.

Математическое описание процесса пылезадержания для условий эксплуатации ленточных транспортёров БСУ заводов ЖБИиК выполнено с учётом упругих свойств пузырьков пены. Результатом реализации процесса пылезадержания пенным способом является его эффективность, расчет которой основан на учёте вероятностной реализации последовательных взаимозависимых физических механизмов взаимодействия пылевых частиц с отдельными пузырьками слоя пены в следующей зависимости:

$$E_{эф-нз} = 1 - (1 - E_{эф(1)-нз}) \cdot (1 - E_{эф(2)-нз}) \cdot (1 - E_{эф(3)-нз}) . \quad (7)$$

Эффективность  $E_{эф(1)-нз}$  характеризует захват и возврат пылевых частиц пенным слоем в поток технологического сырья под действием инерционных сил и определяется по формуле:

$$E_{эф(1)-нз} = 1 - \frac{Stk}{Stk + 2 \cdot 10^{n_1}} . \quad (8)$$

Эффективность  $E_{эф(2)-нз}$  характеризует процесс экранирования пылевых частиц слоем пены и определяется по формуле:

$$E_{эф(2)-нз} = 1 - \exp \left[ -0,693 \cdot \left( \frac{v_{кр}^3}{v} \right)^2 \right] . \quad (9)$$

Эффективность  $E_{эф(3)-нз}$  характеризует захват частиц пыли пеной под действием электрических сил и может быть выражена зависимостью:

$$E_{эф(3)-нз} = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q_0^{0,65} . \quad (10)$$

С учетом уравнений (8), (9), (10) зависимость (7) для определения эффективности пылезадержания пенным способом с применением пенного слоя принимает вид:

$$\begin{aligned} E_{эф-нз} = & 1 - d_q \cdot v \cdot \rho_q / (d_q \cdot v \cdot \rho_q + 360 \cdot \mu_g \cdot l) \cdot \\ & \cdot \exp \left[ -7,48 \sigma / v^2 \cdot \rho_q \cdot (l / d_q + 2,1 d_q / d_n \cdot (d_q + 4 \cdot 10^{-7})) \right] \cdot \\ & \cdot (1 - 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q^{0,65}) . \end{aligned} \quad (11)$$

Для получения параметрической зависимости энергоемкостного показателя пылезадержания пеной предварительно установлены и математически описаны энергетические параметры, связывающие между собой физико-химические и технологические характеристики процесса и характеризующие полезную и затраченную энергии рассматриваемого процесса, в результате чего нами получена параметрическая зависимость энергоёмкостного показателя пылезадержания пенным

слоем:

$$E_{n3}^{\circ} = \left[ \frac{v^2 \cdot c_u \cdot E_{\text{эф}(1)-n3} \cdot V_A \cdot (0,5v + 1,2 \cdot 10^{-28} \cdot E_{\text{эф}(2)-n3} \cdot r^2 / \pi \cdot h_A \cdot \mu_{\text{с}} \cdot d_u) / h_A +}{+ c_u \cdot v \cdot V_A / d_u \cdot \rho_u \cdot (6 \cdot \sigma_{m-\text{жс}} \cdot E_{\text{эф}(1)-n3} \cdot E_{\text{эф}(2)-n3} / d_{nn}) + \sum_{\kappa=1}^3 (P_{\kappa}) \cdot E_{\text{эф}(4)-n3} / \pi \cdot d_u} \right] / (12) \\ / [(H_p \cdot Q_p + H_{\text{с}} \cdot Q_{\text{с}}) \cdot t + N_{un}]$$

Исследования физических особенностей и анализ энергетических характеристик для этапов очистки воздуха от пыли и рассеивания пыли в атмосфере позволили получить также параметрические зависимости:

- эффективности процесса очистки пенным аэрозолем:

$$E_{\text{эф-о-аэп}} = 1 - \left( 1 - \frac{\rho_u \cdot d_u^2 \cdot v_u}{18\mu_{\text{с}} \cdot d_{nn} \cdot \left( \frac{\rho_u \cdot d_u^2 \cdot v_u}{18\mu_{\text{с}} \cdot d_{nn}} + 10^{n_3 \cdot A_7} \right)} \right) \cdot \left( 1 - 0,032q \sqrt{\frac{d_{nn} \cdot \rho_p}{Q_p \cdot d_u \cdot \mu_{\text{с}} \cdot v_u}} \right) ; (13)$$

- энергоёмкостного показателя очистки воздуха пенным аэрозолем:

$$E_{\text{о-аэп}}^{\circ} = \left[ \frac{Q_p \cdot h_A \cdot E_{\text{эф-о-аэп}} \cdot B_1 \cdot (0,5 \cdot \rho_n \cdot v + 3,5 \cdot 10^{-29} / d_n \cdot v \cdot h_A \cdot \tau_m + 12 \cdot \sigma_{m-\text{жс}} \cdot d_u \cdot (1 - \cos \theta) /}{/ d_n \cdot v \cdot \tau_p + 1,91 \cdot \sum_{i=1}^k (P_{\kappa}) / d_n \cdot h_A} \right] / (14) \\ / [0,35 \cdot \pi \cdot (\mu \cdot d_c \cdot (H_p / \rho_p)^{0,5} + 0,91 \cdot \pi \cdot (H_{\text{сн}} - H_{nn})^{3/2} \cdot d_{\text{с}} + Q_{\text{с}} \cdot H_{\text{с}}) + N_{un}]$$

- эффективность процесса очистки воздуха пенным слоем:

$$E_{\text{эф-о-сл}} = 1 - \frac{\rho_u \cdot d_u^2 \cdot v_u}{9\mu_{\text{с}} \cdot l_a \cdot \left( \frac{\rho_u \cdot d_u^2 \cdot v_u}{9\mu_{\text{с}} \cdot l_a} + 2 \cdot 10^{n_2} \right)} \cdot \left( 1 - \exp \left( - \frac{5,77 \cdot 10^{-2} \cdot d_u \cdot \rho_u \cdot v_u^2}{\sigma_{\text{жсз}} \cdot \left( \frac{\delta}{\delta_{\text{кр}}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{d_u^2}{d_{nn} \cdot (d_u + \delta_{\text{кр}})} \right)} \right) \right) \cdot \left( 1 - \exp \left( - \frac{5,77 \cdot 10^{-2} \cdot d_{nn} \cdot \rho_{nn} \cdot v_{nn}^2}{\sigma_{\text{жс-з}} \cdot (1 - \cos \theta)} \right) \right) \cdot (1 - 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q_0^{0,65}) ; (15)$$

- энергоёмкостный показатель очистки воздуха пенным слоем:

$$E_{o-cl}^{\varepsilon} = \left( 0,5 \cdot v_n^3 + \frac{1,83 \cdot 10^{-28} \cdot v_u \cdot R^2}{d_u^3 \cdot h_A \cdot \mu_6} + \frac{6 \cdot \sigma_{ж-л} \cdot v_u \cdot n' \cdot h_A}{\rho_u \cdot d_u \cdot d_{nn}} + \frac{12 \cdot \sigma_{ж-л} (1 - \cos \theta) \cdot n'' \cdot h_A}{\rho_n \cdot \tau_p \cdot d_{nn}} + \right. \\ \left. + \frac{1,91 \left( \sum_{\kappa=1}^3 P_{\kappa} \right) n_0 n''' F_n h_A}{d_u^3 \cdot \rho_u} \right) \times \\ \times \frac{E_{эф-o-cl} \cdot F_n}{Q_{en} (H_{en} - H_{nm}) + (H_p Q_p + H_6 Q_6) \cdot i + N_{un}}; \quad (16)$$

- эффективность процесса принудительного рассеивания пыли пенным аэрозолем:

$$E_{эф-pn-аэр} = 1 - (1 - K_{un}) \cdot \left( 1 - \sum_{i=1}^k d_{u-2(max)} \cdot n_i / \sum_{j=1}^m d_u \cdot n_j \right) \cdot \\ \cdot \left( 1 - \sum_{l=1}^p d_{u-3(min)} \cdot n_l / \sum_{j=1}^m d_u \cdot n_j \right); \quad (17)$$

- энергоёмкостный показатель принудительного рассеивания пыли пенным аэрозолем:

$$E_{pn-аэр}^{\varepsilon} = \left[ (0,2 \cdot d_n \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot (0,004 \cdot \Delta h + d_{ucm})^2 \cdot n'_{pn} + 4 \cdot \pi \cdot n''_{pn} \cdot (0,004 \cdot \Delta h + d_{ucm})^2 \cdot \right. \\ \cdot m_n \cdot v / 10^{-28} \tau_m) \cdot ((U' \cdot (19,8 / Z^{2/3} \cdot \lambda^{5/3} + 15 \cdot Z / U(Z) \cdot \\ \cdot (1 + 3,8 \cdot Z / 2 \cdot \pi)^{5/3} + 3,36 \cdot Z / U(Z) \cdot (1 + 2 \cdot Z / \pi)^{5/3}) \cdot \\ \cdot (m_n + m_u) \cdot n'''_{nn+u} \cdot F_{мурб}) + ((m_n + m_u) \cdot g \cdot Z \cdot F_{мурб} \cdot n'''_{nn+u})) \\ \left. / [H_p \cdot Q_p \cdot t + 7,7 \cdot (0,5 \cdot v_{nm}^2 \cdot \rho_6 - H_{nm}) \cdot D_{on}^2 \cdot v_{nm} + 9,8 \cdot H_{вет} \cdot Q_6] \right]. \quad (18)$$

С целью использования выполненного математического описания процесса пылеподавления пеной для выбора функциональных элементов СБПП и соответствующих им способов организации и технологий применения пены при проектировании, реконструкции и эксплуатации линий транспортировки инертных материалов для предприятий строительной индустрии, в частности, заводов ЖБК, разработана методика, позволяющая кроме ряда характеристик производственно-технологического процесса учитывать также условия обеспечения взрыво- пожаробезопасности и  $ПДК_{pz}$  в рабочей зоне производственных помещений и  $ПДК_{mp(cc)}$  в приземном слое атмосферы.

Алгоритм реализации предложенной методики формирования СБПП, заключающейся в выборе оптимальных по эффективности и энергетической экономичности способов организации и технологий пылеподавления пеной, включает

следующие основные этапы:

1. Сбор информации о реально возможных в условиях конкретного рассматриваемого предприятия диапазонах значений технологических параметров реализации пенным способом каждого функционального элемента СБПП – пылезадержания, очистки воздуха от пыли и принудительного рассеивания пыли в атмосфере.

2. Формирование для каждого функционального элемента СБПП вариантов способов организации и технологий пылеподавления пеной («метод-способ-вид реализации») на основе заданного по п.1 вспомогательного оборудования.

3. Сопоставление технологических особенностей и параметров подобранных вариантов способов организации и технологий пылеподавления пеной с реальными технологическими условиями рассматриваемого предприятия и особенностями территории его расположения (недопустимость переувлажнения сырья и воздуха, превышения температуры, подвижности воздуха, взрыво-пожаробезопасность, электробезопасность и т.д.). Отбор только тех функциональных элементов СБПП и соответствующих им вариантов способов и технологий пылеподавления пеной, которые отвечают выполнению требуемых условий.

4. В рамках каждого, отобранного по п.3 данной методики функционального элемента, по каждому варианту способов организации и технологий пылеподавления пеной, расчет эффективности  $E_{эф}$  снижения загрязнения и отбор только тех вариантов, которые обеспечивают соблюдение ПДК.

4.1. Если условие соблюдения ПДК выполняется только для одного из рассматриваемых вариантов, то именно этот вариант выбирается для реализации.

4.2. Если условие соблюдения ПДК не выполняется ни для какого из рассматриваемых вариантов, то осуществляется выбор (для каждого рассматриваемого функционального элемента) только того варианта, у которого эффективность максимальна, но с последующим совершенствованием технологии этого варианта до обеспечения им требуемой эффективности.

4.3. Если условие соблюдения ПДК выполняется для нескольких рассматриваемых вариантов, то осуществляется предварительная оценка каждого из них по энергетическому критерию  $K_B^э$ . При этом:

4.4. Если максимальным значением  $K_B^э$  обладает только один вариант технологии, то для него выполняются расчет технологических параметров, проектирование и реализация с подбором соответствующих технических средств;

4.5. Если максимальным, но одинаковым, значением  $K_E^э$  обладают несколько вариантов технологии, то именно эти варианты принимаются для дальнейшего рассмотрения с последующим расчётом энергоёмкостного показателя  $E^э$  и определением его максимального значения.

5. В рамках каждого функционального элемента СБПП осуществляется выбор только того варианта способов организации и технологий пылеподавления пеной,

для которого энергоёмкостный показатель  $E^{\text{э}}$  максимален. При этом:

5.1. Если в рамках одного функционального элемента только один из рассматриваемых вариантов обладает максимальным значением энергоёмкостного показателя  $E^{\text{э}}$ , то именно этот вариант окончательно выбирается для реализации.

5.2. Если в рамках одного функционального элемента для нескольких рассматриваемых вариантов значения энергоёмкостного показателя  $E^{\text{э}}$  окажутся равными, то окончательный выбор оптимального варианта осуществляют по минимальному из соответствующих значений затраченной энергии  $N$ .

6. Формирование СБПП (по функциональным элементам) с оптимальными рабочими параметрами, соответствующими максимальным значениям эффективности  $E_{\text{эф}}$  и энергоёмкостного показателя  $E^{\text{э}}$ , для заданных внутренних (производственных) и внешних (территориальных) условий. Решение обратной задачи, связанной с определением значений оптимальных рабочих параметров, соответствующих максимальным значениям эффективности  $E_{\text{эф}}$  и энергоёмкостного показателя  $E^{\text{э}}$ .

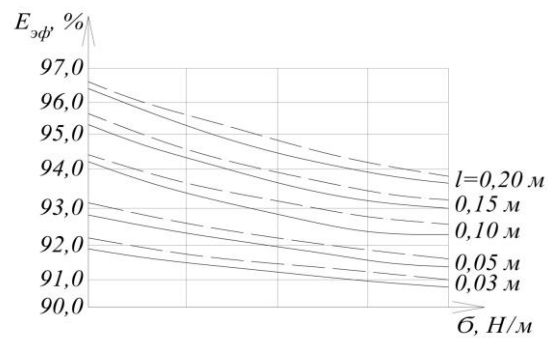
7. Окончательный подбор соответствующего вспомогательного оборудования (технических средств) для реализации каждого функционального элемента и обвязка системы трубопроводами, воздухопроводами и т.п.

Методика обеспечена программой «GEEPSUOR» для аналитического моделирования и расчета рабочих параметров пенного способа, структура которой соответствует структуре методики и включает: блок исходных данных, расчётный и логический блоки, блок вывода результата. С помощью программы «GEEPSUOR» выполнено математическое моделирование процесса обеспыливания воздуха пеной для условий эксплуатации ленточных транспортёров (пыль песка и пыль щебня), в результате выявлены области существования значений эффективности и энергоёмкостного показателя для пылезадержания, для очистки воздуха от пылевых частиц и принудительного рассеивания пыли в атмосфере (графические примеры представлены на рисунке 5).

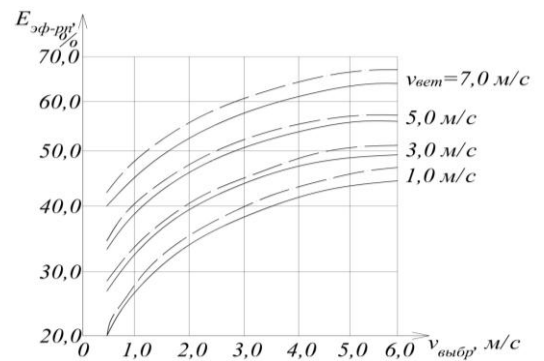
**В четвертой главе** выполнена оценка возможности практического использования разработанной методики оценки и выбора высокоэффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной на основе проведения экспериментальных исследований, с последующим сопоставлением результатов экспериментов и приведённых выше теоретических результатов, полученных на основе расчётов.

Для проведения экспериментальных исследований нами разработан и смонтирован в лаборатории кафедры «Инженерная защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» экспериментальный стенд (рисунок 6). Стенд включает узел перегрузки сыпучего материала, который состоит из подающего ленточного транспортёра 1, принимающего ленточного транспортёра 2 соответственно длиной 1,55 м и 1,38 м, каждый с шириной ленты 0,25 м, загрузочного бункера 3, разгрузочного бункера 4, пеногенератора 5,

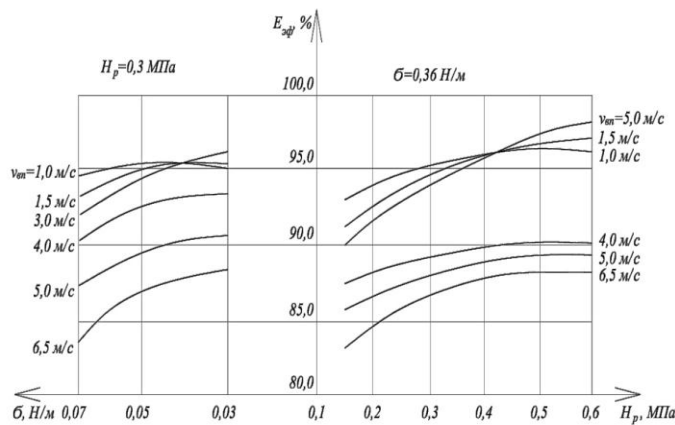




а)



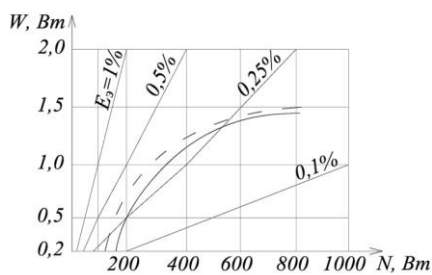
в)



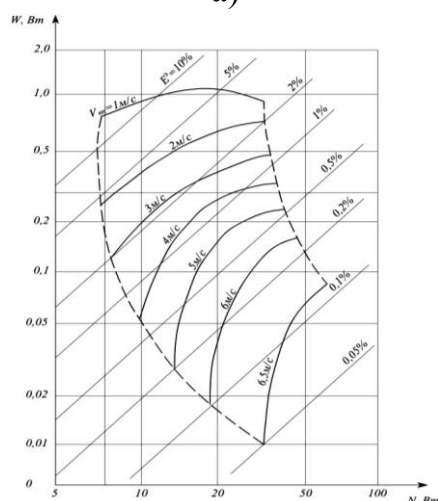
б)

а) – пылезадержание пенным слоем, сетчатым пеногенератором, ленточный транспортёр, пыль песка и щебня; б) – очистка воздуха от пыли щебня пенным аэрозолем, спутное движение, аспирационная сеть ленточного транспортёра; в) – принудительное рассеивание пенным аэрозолем пыли песка и щебня в атмосфере в зависимости от скорости пылевоздушного потока в устье источника выброса

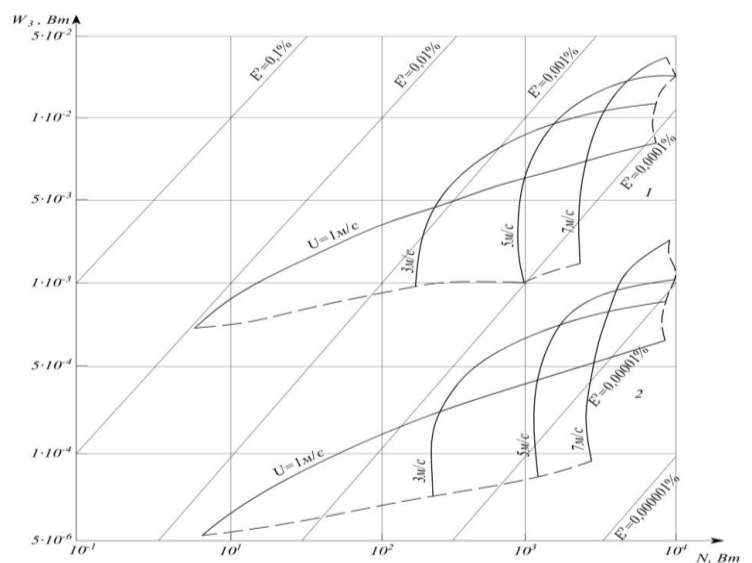
### I- эффективность



а)



б)



в)

а) – пылезадержание пенным слоем, сетчатым пеногенератором, пыль песка и щебня; б) – очистка воздуха от пыли щебня пенным аэрозолем, встречное движение; в) – принудительное рассеивание пенным аэрозолем пыли песка и щебня в атмосфере в зависимости от скорости ветра

### II- энергоемкостный показатель

Рисунок 5- Расчетные значения для основных этапов процесса пылеподавления пеной

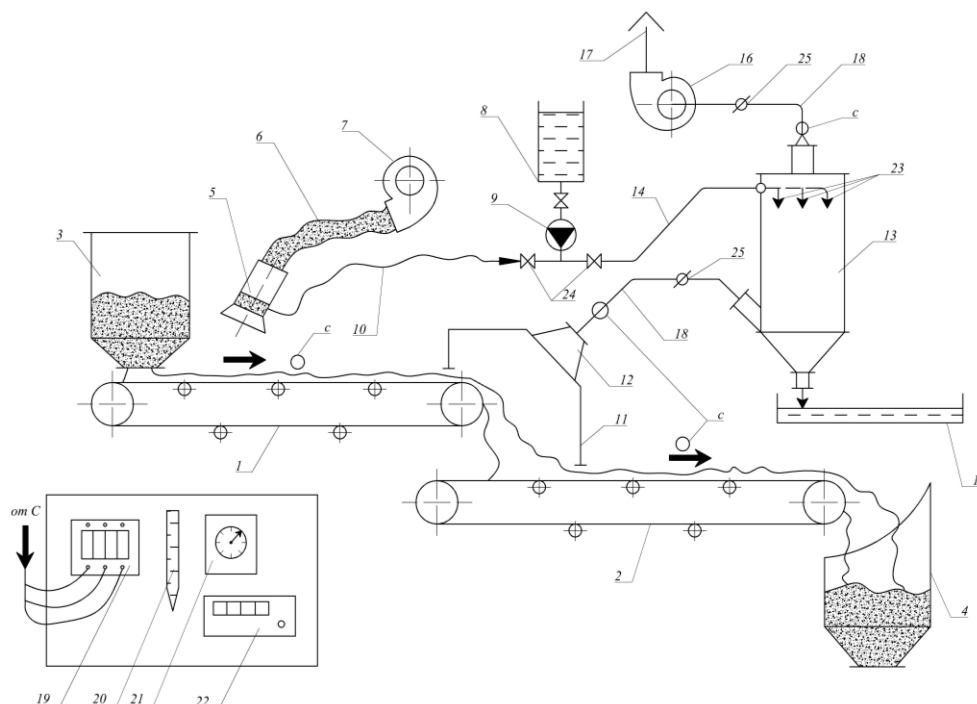


Рисунок 6 - Схема экспериментального стенда

соединенного воздухопроводом 6 с воздуходувкой 7, расходного бака с раствором пенообразователя 8, насосной установки 9, трубопровода 10 подачи раствора пенообразователя к пеногенератору 5 с принудительной подачей воздуха, аспирационного укрытия 11 с аспирационным патрубком 12, активной зоны 13 реализации процесса очистки воздуха от пыли, трубопровода 14 подачи раствора пенообразователя в активную зону очистки, шламособорника 15, вентилятора 16 высокого давления, выхлопного патрубка 17 с зонтом-обтекателем, воздухопроводов 18, а также приборного блока, включающего электроаспиратор 19, термометр 20, барометр-анероид 21, электронный секундомер 22, и вспомогательные устройства: оросители 23, а также запорно-регулирующую арматуру 24 и 25. Точки замеров концентрации пыли (места установки аллонжей открытого или закрытого типа с фильтрами АФА-10) обозначены на схеме как С.

Экспериментальные исследования включали два этапа: предварительный и основной. Целью предварительного этапа эксперимента являлось определение основных характеристик получаемой пены (кратности, стойкости), а также дисперсного состава используемых видов пыли песка, щебня, керамзита и перлита. Для получения пены применяли раствор пенообразователей «Сампо», ОП-7 и ПО-12.

Целью основного эксперимента являлось измерение концентрации пыли в воздухе гравиметрическим методом при аспирационном способе отбора проб с последующим определением эффективности процессов пылезадержания и очистки воздуха от пыли, а также измерения напорно-расходных характеристик воздушного потока и раствора пенообразователя с последующим определением удельной энергии, затрачиваемой на создание пенного слоя и реализацию пенного

способа.

Для количественного подтверждения результатов теоретических исследований с одновременным выполнением статистической обработки экспериментальных данных нами использован метод теории подобия, базирующийся на  $\pi$ -теореме (методе анализа размерностей), являющейся частным случаем теоремы подобия Бекингема-Федермана. При этом зависимости между физическими величинами и геометрическими параметрами, характеризующими процесс, представлены в общем виде на основе анализа размерностей основных физических величин, определяющих характер протекания процесса пылеподавления.

Эффективность пылеподавления, как одна из искомым безразмерных характеристик процесса, представлена разностью концентраций пыли в воздухе до  $C_n$  и после  $C_k$  активной зоны реализации процесса пылеподавления, отнесённой к начальной концентрации  $C_{н-np} = 1000 \text{ мг/м}^3$ . На основании использования метода анализа размерностей ( $\pi$ -теоремы) и результатов проведенных экспериментальных исследований получена следующая эмпирическая зависимость эффективности процесса пылезадержания в безразмерной форме:

$$\frac{\Delta C_q}{\rho_p} = 0,128 \cdot \text{Re}^{0,153} \cdot D_1^{0,234} \cdot Fr^{-0,184} . \quad (19)$$

Применяя метод анализа размерностей ( $\pi$ -теорему) к описанию удельной затраченной энергии при реализации процесса пылезадержания, нами получена соответствующая эмпирическая зависимость в безразмерной форме:

$$K_N = 2,346 \cdot We^{-0,301} \cdot Fr^{-0,164} \cdot \left( \frac{h_a}{d_{a-n3}} \right)^{0,6} . \quad (20)$$

Также получены эмпирические зависимости соответственно эффективности и удельной затраченной энергии для процесса очистки воздуха от пыли:

$$\frac{\Delta C_q}{\rho_p} = 1,482 \cdot \text{Re}^{2,714} \cdot D_1^{0,851} \cdot Fr^{-0,112} \quad (21)$$

и

$$K_N = 2,346 \cdot We^{-0,715} \cdot Fr^{-1,357} \cdot \left( \frac{l_a}{d_{a-o}} \right)^{1,214} . \quad (22)$$

Таким образом, полученные эмпирические зависимости (19) - (22) качественно и количественно определяют взаимосвязь физико-химических и аэро- гидродинамических параметров процесса взаимодействия пены с пылевоздушным потоком, что подтверждает возможность их использования для сопоставления с ре-

зультатами теоретических исследований и оценки степени их достоверности. Таковую оценку выполняли путём графического сопоставления теоретических и эмпирических зависимостей с учётом погрешности проводимых измерений (доверительного интервала):

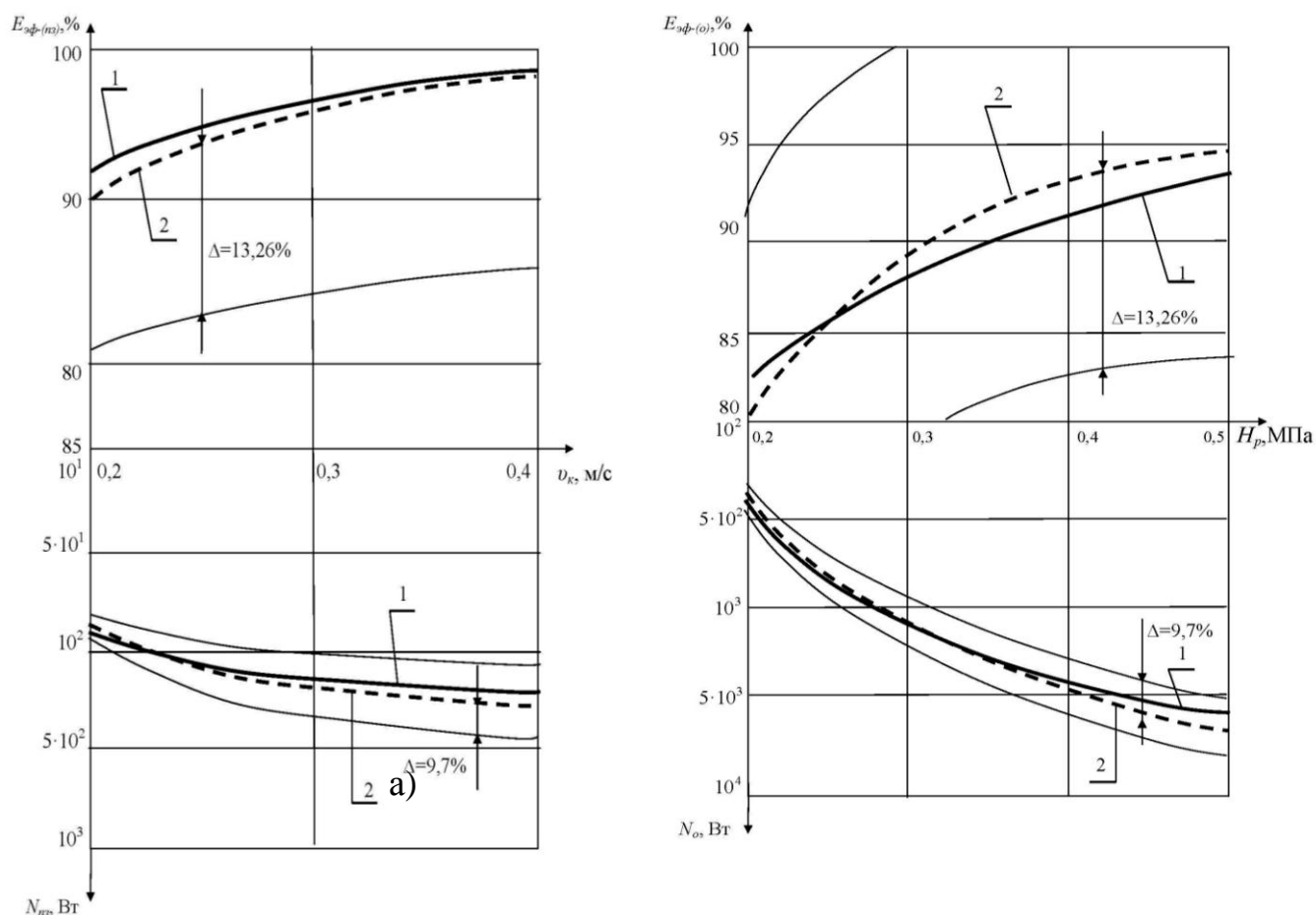
- для измерений концентрации пыли в воздухе максимальная относительная погрешность составила  $\pm 13,26\%$  при доверительной вероятности  $p = 0,95$ ;
- для измерений удельной затраченной энергии максимальная относительная погрешность составила  $\pm 9,7\%$  при доверительной вероятности  $p = 0,95$ .

На рисунке 7 представлены примеры графического сопоставления теоретических и эмпирических зависимостей эффективности и удельной затраченной энергии соответственно процессов пылезadržания и очистки воздуха от пыли пенным способом. Анализ такого сопоставления, выполненного для всего диапазона условий применения технологий обеспыливания пеной, позволяет заключить, что, учитывая погрешность измерений, результаты теоретических расчётов в достаточной степени (в пределах доверительных интервалов) согласуются с данными экспериментальных исследований. При этом достаточная степень согласованности результатов теоретических расчетов и данных экспериментальных исследований также показывает, что в условиях проведения эксперимента проявлялись те же особенности процесса взаимодействия пены с пылевым аэрозолем, что и учтённые выше в математическом описании этого процесса.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований обеспечивается возможность полномасштабной оценки способов организации и технологий пылеподавления пеной как единого многостадийного и многофакторного процесса без предварительной реализации их на практике и эмпирического подбора оптимальных рабочих параметров.

**В пятой главе** представлены результаты практической реализации предложенной автором методики, разработаны рекомендации по совершенствованию (повышению эффективности и энергетической экономичности) каждого этапа процесса обеспыливания: пылезadržания; очистки воздуха от пыли; принудительного рассеивания пыли в атмосфере, а также внедрены технологические схемы, технологии и устройства пылеподавления пеной.

Примерами технической реализации предложенных рекомендаций служат разработанные принципиально новые технические решения: автономное устройство регенерационной очистки воздуха рабочей зоны; устройство регенерационной очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли; модифицированное устройство очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли; устройство для очистки вентиляционного воздуха; устройство для очистки воздуха от пыли; аппарат гидродинамической очистки газов; автономное устройство для улавливания и связывания пыли «ОТУО-2-3».



а) – пылезадержание (над лентой, пыль щебня,  $C_{no}=0,6\%$ ); б) - очистка воздуха от пыли (пыль щебня, пенный аэрозоль, встречное движение,  $C_{no}=0,6\%$ );

1 – теоретические зависимости; 2 – эмпирические зависимости

Рисунок 7 - Сопоставление теоретических и эмпирических зависимостей эффективности и удельной затраченной энергии соответственно от скорости движения ленты транспортера  $v_к$  и от давления раствора пенообразователя перед оросителем  $H_p$

Разработанные методика, технические рекомендации, технологические схемы, технологии и устройства пылеподавления пеной внедрены при реконструкции систем пылеподавления и очистки аспирационного воздуха от пыли ленточных транспортеров инертных материалов, узлов их перегрузки, участков загрузки бетоносмесительных узлов и отделений ПАО «КСМ-10» г. Ростова-на-Дону, ООО «Завод строительного оборудования» г. Ростова-на-Дону, ЗАО «Ростовский Завод Железобетонных Конструкций» г. Ростова-на-Дону, ПАО «Мостожезобетон-конструкция» Батайский завод МЖБК г. Батайска Ростовской области. В результате внедрения на перечисленных объектах процесс пылеподавления пеной реализован с максимальными эффективностью и энергетической экономичностью,

обеспечивая санитарно-гигиенический эффект за счёт снижения концентрации пыли песка и щебня в воздухе рабочих зон до уровня ПДК<sub>рз</sub>, а также экологический эффект за счёт обеспечения ПДК<sub>мр</sub> этих видов пыли в воздушном бассейне промплощадки. Суммарный экономический эффект от внедрения методики, технических рекомендаций и инженерных решений составил 604 868 руб/год.

С целью расширения области практического применения результатов диссертационной работы разработанные методика, технические рекомендации и инженерные решения также использованы в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной технической университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Техносферная безопасность», профили «Безопасность технологических процессов и производств» и «Инженерная защита окружающей среды» в курсе лекционных и практических занятий по дисциплинам: «Безопасность жизнедеятельности», «Теоретические основы защиты окружающей среды», «Процессы и аппараты защиты окружающей среды», «Механика многофазных сред», «Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлено решение актуальной задачи по совершенствованию метода оценки и выбора высокоэффективных и энергетически экономичных инженерных систем обеспыливания пеной технологического сырья и воздуха с целью обеспечения безвредных условий труда в рабочих зонах предприятий строительной индустрии, а также экологически безопасных условий, благоприятных для жизнедеятельности населения городских территорий.

При этом сформулированы следующие **итоги выполненного исследования**:

1. Выявлены и описаны энергетические характеристики процессов и явлений, наблюдаемых в пылевых аэрозолях, образующихся и выделяющихся в воздушную среду на предприятиях строительной индустрии, в частности, на заводах по изготовлению железобетонных конструкций, а также оценено влияние этих особенностей на условия реализации процесса обеспыливания воздуха.
2. Показано, что одной из наиболее экономичных технологий обеспыливания технологического сырья и воздуха на протяженных источниках пылевыделения предприятий строительной индустрии является пенный способ.
3. Разработан алгоритм реализации физико-энергетического подхода к оценке и выбору оптимальных для заданных производственных условий технологий обеспыливания пеной на основе построения физических моделей процессов загрязнения и снижения загрязнения технологического сырья и воздуха для основных технологических процессов на заводах по производству железобетонных изделий.
4. Получены параметрические зависимости эффективности и критерия энергетической экономичности (энергоёмкостного показателя) процесса обеспыливания пеной воздуха и технологического сырья для условий эксплуатации ленточных

транспортёров в зависимости от условий пенообразования, свойств пылевых частиц и пены, а также динамических условий в зоне пылевыделения.

5. Разработана методика оценки и выбора экологически эффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной, включающая формирование блока исходных данных для оценки и выбора оптимальных технологий обеспыливания пеной, математическое описание процесса обеспыливания пеной на этапах пылезадержания (экранирования), очистки воздуха от пыли и рассеивания пыли, а также формирование логического блока выбора оптимальной технологии обеспыливания пеной. На основе разработанной методики выполнены теоретические расчеты и определены области существования значений санитарно-гигиенической и экологической эффективности, а также энергетической экономичности различных технологий обеспыливания пеной для производственных условий заводов по изготовлению железобетонных конструкций.

6. Экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных условиях, позволили выполнить проверку теоретических положений на основе сопоставления результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными. Отмечено удовлетворительное согласование теоретических расчетов с данными экспериментальных исследований эффективности обеспыливания и удельной затраченной энергии.

7. Выполнена практическая апробация методики оценки и выбора максимально эффективных и энергетически экономичных технологий обеспыливания пеной при эксплуатации и реконструкции заводов по изготовлению железобетонных конструкций, а также при проведении научных исследований и в учебном процессе. Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях строительной индустрии: ПАО «Комбинат строительных материалов (КСМ) №10 (г.Ростов-на-Дону), ООО «Завод строительного оборудования» (г.Ростов-на-Дону), ПАО «Мостожелезобетонконструкция» Батайский завод МЖБК (г.Батайск Ростовской области) и ЗАО «Ростовский Завод Железобетонных Конструкций» (г.Ростов-на-Дону). Внедренные разработки позволили обеспечить нормативные значения концентрации пыли песка и щебня на постоянных рабочих местах предприятий строительной индустрии за счет снижения фактического уровня на 96-99%, обеспечив социально-экономический эффект по каждому предприятию в среднем от 40 до 130 тыс.руб/год на основе предотвращенного экономического ущерба от потери трудоспособности работниками предприятия. Суммарный экономический эффект от внедрения методики, технических рекомендаций и инженерных решений составил 604 868 руб/год.

В качестве **рекомендаций** определены основные направления совершенствования каждого этапа реализации процесса обеспыливания воздуха пеной на основе повышения эффективности при обеспечении максимальной энергетической экономичности, а, следовательно, получена возможность совершенствовать

существующие и разрабатывать новые технические решения (способы и средства) для достижения оптимальных значений упомянутых выше результирующих параметров процесса обеспыливания.

**Перспективы дальнейшей разработки темы** заключаются в предложениях по совершенствованию способов организации и технологий пылеподавления пеной, а также по расширению области применения предложенной методики по спектру видов пылеобразующего материала и производственно-технологического оборудования предприятий стройиндустрии.

#### **Условные обозначения**

$d_{nn}$  – средний медианный диаметр пенных пузырьков, м;  $n_3$  – коэффициент, характеризующий соотношение фактической и критической скоростей движения пылевых частиц и пузырьков пены;  $A_7$  – коэффициент полноты перекрытия поперечного сечения активной зоны очистки пенным аэрозолем;  $Q_p$  – расход раствора пенообразователя перед выходным сечением оросителя, м<sup>3</sup>/с;  $\tau_p$  – время смачивания частицы ЗВ пенным пузырьком, с;  $P_k$  – электрические силы (кулоновские и индукционные), участвующие во взаимодействии частицы ЗВ и пузырька пены, Н;  $H_{en}$  – полное давление в сечении нагнетающего (всасывающего) патрубка побудителя тяги, Па;  $H_{nm}$  – потери полного давления по трубопроводу от сечения патрубка побудителя тяги до активной зоны очистки, Па;  $Q_v$  – расход сжатого воздуха, подаваемого к оросителю, м<sup>3</sup>/с;  $N_{un}$  – мощность источника искусственной электризации пены, Вт;  $i$  – количество однотипных пеногенераторов, необходимое для полного перекрытия поперечного сечения активной зоны очистки, шт;  $n'$  – удельное количество пылевых частиц, столкнувшихся с пузырьками пены и вступивших в межмолекулярное взаимодействие, 1/м<sup>3</sup>;  $n''$  – удельное количество пылевых частиц, на поверхности которых происходит процесс смачивания пенными пузырьками, 1/м<sup>3</sup>;  $n'''$  – удельное количество пылевых частиц, которые задерживаются на поверхности пузырьков пены за счет действия электрических сил, 1/м<sup>3</sup>;  $n_1^l$  – коэффициент, учитывающий соотношение фактических размеров пылевых частиц  $d_q$  и их критического размера  $d_{kp}$ ;  $v_{kp}^3$  – критическая скорость пылевой частицы, при которой пузырек пены может разрушиться при экранирующем (упругом) взаимодействии, м/с;  $q_0$  – удельный электрический заряд пены, Кл/м;  $V_A$ ,  $h_A$  – соответственно объем (м<sup>3</sup>) и высота (м) активной зоны пылезадержания;  $l_a$  – длина активной зоны очистки, м;  $K_N$  – критерий Эйлера (критерий мощности).

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

**Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях:**

1. Гурова, О. С. Анализ возможных применений технологий обеспыливания воздуха на предприятиях строительной индустрии [Текст] / В. И. Беспалов, О. С. Гу-



рова // Научное обозрение. – 2012. – № 6. – С. 193 – 195.

2. **Гурова, О. С.** Применение теории дисперсных систем для описания особенностей поведения токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов стационарных и передвижных источников урбанизированных территорий [Электронный ресурс] / В. И. Беспалов, О. С. Гурова, Н. С. Самарская // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т.27. – № 4. – С.286. URL.: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2319>

3. **Гурова, О. С.** Основные принципы классификации источников загрязнения воздушной среды городских территорий Южного Федерального Округа [Электронный ресурс]/ О. С. Гурова // Наукоеведение. – 2013. – № 5. – URL.: <http://naukovedenie.ru/sbornik6/4.pdf>

4. **Гурова, О. С.** Применение физико-энергетического подхода к описанию процесса загрязнения воздуха заводами ЖБИиК [Электронный ресурс] / В. И. Беспалов, О. С. Гурова // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 26. – № 3 (26). – С.175. – URL.: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1963>

5. **Гурова, О. С.** Применение теории дисперсных систем для описания особенностей поведения токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов стационарных и передвижных источников урбанизированных территорий [Текст]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова, Н. С. Самарская и др. // Научное обозрение. – 2014. - № 9. – Ч. 3. – С. 710 – 713.

6. **Гурова, О. С.** Обзор известных методов и способов очистки выбросов предприятий стройиндустрии [Текст] / Н. С Самарская, О. С. Гурова, О. Н. Парамонова // Научное обозрение. – 2014. – № 7. – Ч. 2. – С. 665 – 667.

7. **Гурова, О. С.** Математическое описание результирующих параметров процесса пылеподавления пенным аэрозолем на ленточных конвейерах предприятий строительной индустрии [Электронный ресурс]/ О. С. Гурова, // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4. С. 8. – URL.: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3356](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3356)

8. **Гурова, О. С.** Проблема обеспечения требований безопасности труда в строительной области [Электронный ресурс]/ О. С. Гурова, А. А. Гладилина, О. В. Дзюба // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – С. 8. – URL.: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3220](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3220).

9. **Гурова, О. С.** Научное обоснование построения баланса и экологической оценки производственных потоков при изготовлении железобетонных изделий и конструкций заводов ЖБИиК [Электронный ресурс]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова, О. Н. Парамонова // Инженерный вестник Дона. - 2015. – № 4. – С. 8. – URL.: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3416](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3416)

10. **Гурова, О. С.** Технологические основы пылезадержания пеной на предприятиях строительной индустрии [Текст]/ О. С. Гурова // Научное обозрение. – 2015. – № 24. –С. 68-71.

11. **Гурова, О. С.** Исследование влияния основных свойств пены и условий пено-

образования на эффективность обеспыливания воздуха [Текст]/ О. С. Гурова // Научное обозрение. – 2015. – № 24.- С.78-81.

12. **Гурова, О. С.** Построение блок–схемы физической модели процесса загрязнения воздуха рабочих зон и прилегающих территорий для заводов ЖБИиК [Текст]/ В.И. Беспалов, О. С. Гурова // Научное обозрение. – 2015. – № 24.- С. 57-61.

13. **Гурова, О. С.** Сопоставление экспериментальных данных с результатами теоретических исследований пылеподавления пеной [Текст]/ О. С. Гурова // Научное обозрение. – 2016. – № 3.- С. 81-84.

14. **Гурова, О. С.** Разработка научно обоснованной методики оценки и выбора максимально экологически эффективных и энергетически экономичных технологий очистки от токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов объектов городской среды [Электронный ресурс]/ В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова, Е.П. Лысова // Науковедение. – 2015. – № 6. – URL.: <http://naukovedenie.ru/PDF/149TVN615.pdf>

15. **Гурова, О. С.** Оценка экологической эффективности и энергетической экономичности применения пены в виде пенного аэрозоля для очистки выбросов предприятий строительной индустрии от токсичных компонентов [Электронный ресурс]/ В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова, Е.П. Лысова // Науковедение. – 2015. – № 6. – URL.: <http://naukovedenie.ru/PDF/149TVN615.pdf>

16. **Гурова, О. С.** Оценка экологической эффективности и энергетической экономичности применения пены в виде слоя пены для очистки выбросов предприятий строительной индустрии от токсичных компонентов [Электронный ресурс]/ В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова, Е.П. Лысова // Науковедение. – 2015. – № 6. – URL.: <http://naukovedenie.ru/PDF/149TVN615.pdf>

17. **Гурова, О. С.** Экспериментальные исследования пылеподавления пеной на конвейерных линиях предприятий стройиндустрии [Текст]/ О. С. Гурова, Е.С. Бавина // Научное обозрение. – 2016. – № 3. – С. 78-81.

18. **Гурова, О. С.** Обработка результатов экспериментальных исследований пылеподавления пеной на конвейерных линиях предприятий стройиндустрии [Текст]/ О. С. Гурова, О.Н. Парамонова, Е.П. Лысова // Научное обозрение. – 2016. – № 3. – С. 86-89.

19. **Гурова, О.С.** Математическое описание результирующих параметров процесса очистки токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов объектов городской среды [Текст] / В. И. Беспалов, О. В. Бурлаченко, О. С. Гурова, О. Н. Парамонова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 43(62). – С. 211 - 225.

20. **Гурова, О. С.** Математическое описание эффективности процесса гидродинамического пылезадержания пенным слоем на открытых источниках предприятий строительной индустрии [Электронный ресурс]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова// Инженерный вестник Дона. - 2017. – № 4. – URL.:

ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4386.

**Работы, опубликованные в изданиях, индексируемых базами «Scopus»/ «Web of science»:**

1. Development and Choice of an Evidence-based Technique of the Most Ecologically Effective and Energetically Economic Technologies of Cleaning of Toxic Components of the Departing and Exhaust Gases of Objects of an Urban Environment Assessment. [Электронный ресурс] / V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, E. P. Lysova и др. // BIOSCIENCES BIOTECHNOLOGY RESEARCH ASIA. – 2015. – August. – Vol. 12 (2). – p. 1459-1470. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1805> (Received: 10 April 2015; accepted: 19 June 2015). – URL: <http://www.biotech-asia.org/download/Vadim-Igorevich-Bespalov-Oksana-Sergeevna-Gurova-%0D%0AOksana-Nickolaevna-Paramonova-and-Ekaterina-Petrovna-Lysova/BBRAV12I02P1459-1470.pdf>
2. Development of Physical and Energy Concept for Assessment and Selection of Technologies for Treatment of Emissions from Urban Environment Objects. [Электронный ресурс] / V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, E. P. Lysova и др. // BIOSCIENCES BIOTECHNOLOGY RESEARCH ASIA. – 2014. – December. – Vol. 11(3). – p. 1615 - 1620. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1560> (Received: 30 October 2014; accepted: 05 December 2014). – URL: <http://www.biotech-asia.org/download/Vadim-Igorevich-Bespalov-Oksana-Sergeevna-Gurova-Natalia-Sergeevna-Samarskaya-Ekaterina-Petrovna-Lysova-and-Alexandra-Nicolaevna-Mishchenko/BBRAV11I03P1615-1620.pdf>
3. Assessment of Ecological Efficiency and Energy Efficiency of Foam Use at the Construction Industry Enterprises by Emission Cleaning Process. [Электронный ресурс] / V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, N. S. Samarskaya и др. // BIOSCIENCES BIOTECHNOLOGY RESEARCH ASIA. – 2015. – August. – Vol. 12 (2). – p. 1587-1596. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1805> (Received: 10 April 2015; accepted: 19 June 2015). – URL: <http://www.biotech-asia.org/download/Vadim-Igorevich-Bespalov-Oksana-Sergeevna-Gurova-%0D%0ANatalia-Sergeevna-Samarskaya-and-Natalya-Vladimirovna-Yudina/BBRAV12I02P1587-1596.pdf>
4. Analysis of Qualities of Construction Wastes as Secondary Material Resources from the Position of the Theory of Stability of Disperse Systems. [Электронный ресурс] / V. Bespalov, **O. Gurova**, O. Paramonova, E. P. Lysova и др. // MATEC Web of Conferences. – 2016. – August. – Vol. 73, 03008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20167303008> – URL: [http://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/36/mateconf\\_tpacce2016\\_03008/mateconf\\_tpacce2016\\_03008.html](http://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/36/mateconf_tpacce2016_03008/mateconf_tpacce2016_03008.html)
5. Main Principles of the Atmospheric Air Ecological Monitoring Organization for Urban Environment Mobile Pollution Sources [Электронный ресурс] / V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, N. S. Samarskaya // PROEDIA ENGINEERING – 2016. – August. – Vol. 150. – p. 2019-2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.286/>. – URL: <http://ac.els-cdn.com/S1877705816316058/1-s2.0-S1877705816316058-main>.

pdf?\_tid=7626e9b8-78bf-11e6-bbc3-00000aacb362&acdnat=1473667619\_455d21ba90badadbf777dafc752c5208

6. Simulation of the dust suppression process with foam in the areas of belt conveyors/ V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, N. S. Samarskaya, E. P. Lysova и др. //MATEC Web of Conferences 106. – 2017. – May. – Vol. 106, 07021. DOI:

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201710603010> – URL:<https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/contents/contents.html>

7. Selection of Ecologically Efficient and Energetically Economic Engineering-Ecological System for Municipal Solid Wastes Transportation / V. I. Bespalov, **O. S. Gurova**, O.N. Paramonova, N. S. Samarskaya ///MATEC Web of Conferences 106. – 2017. – May. – Vol. 106, 07021. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607021>–URL:[https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/mateconf\\_spbw2017\\_07021/mateconf\\_spbw2017\\_07021.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/20/mateconf_spbw2017_07021/mateconf_spbw2017_07021.html)

### Монографии:

1. Совершенствование способов и средств обеспыливания воздушной среды бетоносмесительных отделений заводов железобетонных изделий и конструкций [Текст]: Монография / В. И. Беспалов, **O. С. Гурова**, Н. В. Юдина и др. – Ростов н/Д.: изд-во Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – 126 с.

2. Физико-энергетическая концепция выбора комплекса экологически эффективных и энергетически экономичных систем снижения загрязнения воздушной среды городов [Текст]: Монография / В. И. Беспалов, **O. С. Гурова**, О. Н. Парамонова – Ростов н/Д.: изд-во Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – 176 с.

### Патенты на изобретения и полезные модели:

1. Пат. RU 2144434 С1 Российская Федерация МПК В03С3/16. Устройство регенерационной очистки загазованного воздуха [Текст]/ В. И. Беспалов, **O. С. Гурова**, В.П. Журавлёв [и др.]; заявители и патентообладатели В. И. Беспалов, О. С. Гурова, В.П. Журавлёв. [и др.] –№98115407/12; заявл. 05.08.1998; опубл. 10.02.2003, Бюл. №4.

2. Пат. RU 2156643 С1 Российская Федерация МПК В01Д47/04. Устройство регенерационной очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, **O. С. Гурова**, Н.А. Страхова [и др.]; заявители и патентообладатели В. И. Беспалов, О. С. Гурова, Н.А. Страхова [и др.]. – №99109790/12; заявл. 05.05.1999; опубл. 27.09.2000, Бюл. №1.

3. Пат. на полезную модель RU 137210 U1 Российская Федерация МПК В01Д47/04 (2006.01). Устройство очистки воздуха от тонкодисперсной неслипающейся пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, **O. С. Гурова**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2013132094/05; заявл. 10.07.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. №4.

4. Пат. на полезную модель RU 139077 U1 Российская Федерация МПК E21F5/00 (2006.01). Устройство для очистки вентиляционного воздуха [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, А.В. Долматова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2013150641/03; заявл. 13.11.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. №10.
5. Пат. на полезную модель RU 145908 U1 Российская Федерация МПК B01D47/04 (2006.01). Устройство для очистки воздуха [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2014118319/05; заявл. 06.05.2014; опубл. 27.09.2014, Бюл. №27.
6. Пат. на полезную модель RU 146368 U1 Российская Федерация МПК B01D47/14 (2006.01). Аппарат гидродинамической очистки газов [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, С.В. Мещеряков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2014129194/05; заявл. 15.07.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. №28.
7. Пат. на полезную модель RU 154725 U1 Российская Федерация МПК E21F5/00 (2006.01). Устройство для улавливания и связывания пыли «ОТУО-2-3» [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, С.В. Мещеряков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2015109550/03; заявл. 18.03.2015; опубл. 10.09.2015, Бюл. №25.
8. Пат. на полезную модель RU 169050 U1 Российская Федерация МПК B65G69/18 (2006.01). Устройство для улавливания и связывания пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, Е.П. Лысова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ). – №2016141699; заявл. 24.10.2016; опубл. 02.03.2017, Бюл. №7.
9. Пат. на полезную модель RU 170041 U1 Российская Федерация МПК B65G69/18 (2006.01). Устройство для улавливания и связывания пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, Е.П. Лысова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ). – №2016152756; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.04.2017, Бюл. №11.
10. Пат. на полезную модель RU 170042 U1 Российская Федерация МПК

B65G69/18 (2006.01). Устройство для улавливания и связывания пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, Е.П. Лысова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ). – №2016143680; заявл. 07.11.2016; опубл. 12.04.2017, Бюл. №11.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. GEEPSUOR для аналитического моделирования и расчета рабочих параметров пенного способа в различных производственных условиях [Текст]/ **О. С. Гурова**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (РГСУ). – №2016613157; заявл. 26.01.2016; опубл. 18.03.2016.

#### **Отраслевые издания и материалы конференций:**

1. **Гурова, О. С.** Рассеивание пыли пенным способом [Текст]/ О. С. Гурова // Строительство-2000: мат. Межд. науч.-практ. конф.– Ростов н/Д: РГСУ, 2000.– С. 51.
2. **Гурова, О. С.** Научные основы разработки и формирования высокоэффективных и экономичных систем защиты воздушного бассейна территории комплексной застройки [Текст]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д.: РГАСХМ, 2000. – С. 65 – 68.
3. **Гурова, О. С.** Устройство регенерационной очистки воздуха от тонкодисперсной пыли [Текст]/ В. И. Беспалов, И. Г. Ищук, О. С. Гурова // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: сб. науч. тр. – М.: изд-во ННЦ ГП- ИГД им. А.А. Скочинского, 2000. – С.86 – 89.
4. **Гурова, О. С.** Разработка эффективных и экономичных систем защиты атмосферы города от промышленной пыли [Текст]/ О. С. Гурова // Здоровье города - здоровье человека: мат. Межд. науч. – практ. конф. – Ростов н/Д, 2001.– С.56–58.
5. **Гурова, О. С.** Концепция выбора системы обеспечения экологической и производственной безопасности в промышленном комплексе [Текст]/ В. И. Беспалов, С. В. Мещеряков, О. С. Гурова // БЖД, XXI век: Межд. симпозиум. – Волгоград: изд-во ВолгАСА, 2001. – С. 55 – 58.
6. **Гурова, О. С.** Применение пены для обеспыливания воздушной среды [Текст]/ О. С. Гурова // мат. Межд. конф. Департамента по охране окружающей среды Южного региона. – Ростов н/Д, 2001. – С. 18 – 19.
7. **Гурова, О. С.** Оценка энергетического потенциала технологических процессов для обеспечения эколого-производственной безопасности [Текст]/О. С. Гурова // Строительство-2002: мат.Межд. науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2002.– С.16-17.
8. **Гурова, О. С.** Разработка комплексного подхода к энергетической оценке

загрязнения окружающей среды [Текст]/О. С. Гурова, С. В. Мещеряков // Строительство-2004: мат. Межд. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2004. – С.19.

9. **Гурова, О. С.** Параметры пылевого и пенного аэрозолей, определяющие выбор высокоэффективных и экономичных систем обеспыливания [Текст]/ О. С. Гурова // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д.: РГАСХМ, 2003. – № 7. – С. 60 – 62.

10. **Гурова, О. С.** Исследование процесса аэродинамического пылеулавливания для линий транспортировки сыпучих материалов ленточных конвейеров [Текст]/ О. С. Гурова, Н. В. Кудинова // Известия РГСУ. – 2005. – С. 190 – 196.

11. **Гурова, О.С.** Особенности реализации пенного способа снижения загрязнения воздуха пылью на предприятиях строительной отрасли [Текст]/О. С. Гурова // Строительство-2013: мат. Межд. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д, 2013. – С.106.

12. **Гурова, О. С.** Анализ состояния воздуха рабочей зоны в арматурных цехах предприятий строительной индустрии [Текст]/ О. С. Гурова, Е. Р. Каюмова // Строительство 2013: мат. Межд. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2013. – С.107.

13. **Гурова, О. С.** Особенности реализации пенного способа обеспыливания воздуха на предприятиях строительной отрасли [Текст]/ О. С. Гурова, Л. З. Ганичева // Известия РГСУ. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2013. – С.84 – 89.

14. **Гурова, О. С.** Исследование процесса загрязнения воздушной среды города предприятиями строительной индустрии [Текст]/ В. И. Беспалов О. С. Гурова, Н. С. Самарская // Современные направления теоретических и прикладных исследований: мат. Межд. науч.-практ. конф. – Одесса, 2014. – Вып.1. – Том 3. – С.15 – 20.

15. **Гурова, О. С.** Анализ условий реализации пенного способа обеспыливания воздуха на предприятиях строительной отрасли [Текст]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова, Л. З. Ганичева // Известия РГСУ. – 2014. – С.52 – 57.

16. **Гурова, О. С.** Совершенствование технологий подавления пыли пенным способом [Текст]/ В.И.Беспалов, О.С.Гурова// Развитие науки и образования в современном мире: сб.науч.трудов Межд.науч.-практ.конф.:–М.:«АР-Консалт», 2015.– С.156.

17. **Гурова, О. С.** Обоснование применения пены для пылеподавления на конвейерных линиях предприятий строительной индустрии [Текст]/ В. И. Беспалов, О. С. Гурова // Инновационная наука. – 2015. – № 11. – С.16 – 18.

#### **Учебные пособия:**

1. Процессы и аппараты снижения загрязнения воздушной среды [Текст]: Учебное пособие, ч. 1 / В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, С. В. Мещеряков и др. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2014. – 112 с.

2. Процессы и аппараты снижения загрязнения воздушной среды [Текст]: Учебное пособие, ч. 2 / В. И. Беспалов, **О. С. Гурова**, С. В. Мещеряков и др. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2015. – 171 с.

**ГУРОВА ОКСАНА СЕРГЕЕВНА**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПЕНОЙ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ**

05.26.01 - Охрана труда (строительство)

05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

доктора технических наук

---

Подписано в печать 19.12.2017 г. Заказ № 481      Тираж 100 экз. Печ.л. 2,0

Формат 60x84 1/16

Бумага писчая. Ризограф.

Издательский центр

Донского государственного технического университета

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1