

На правах рукописи



КОНДРАТЕНКО ТАТЬЯНА ОЛЕГОВНА

**СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОБЕТОНА И ГАЗОБЕТОННЫХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

05.23.19 - Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Волгоград – 2018 г.

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Николенко Максим Александрович

Официальные оппоненты: **Аверкова Ольга Александровна**
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Теплогазоснабжения и вентиляции»
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. Шухова»

Кошкарев Сергей Аркадьевич
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Безопасности жизнедеятельности
в техносфере» ФГБОУ ВО «Волгоградский
государственный технический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Воронежский государственный
технический университет»

Защита диссертации состоится «24» мая 2018 г. в 12-00 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 библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Жукова Наталья Сергеевна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. Газобетон, выпускаемый как теплоизоляционный, конструктивно-теплоизоляционный и конструктивный, является универсальным современным строительным материалом, отличается долговечностью и высокой прочностью на сжатие, не горит и не поддерживает горение. Применение газобетона при возведении, как небольших домов, так и высотных зданий, а также торговых и развлекательных комплексов, позволяет сократить время строительства и капитальные затраты. Поэтому в настоящее время производство газобетона и строительных конструкций на его основе находит в нашей стране все более широкое применение, особенно в связи с реализацией государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации».

Вместе с тем, предприятия по производству газобетона и газобетонных строительных конструкций, так же, как предприятия по производству других строительных материалов, располагаются в пределах населенных пунктов и характеризуются большими, значительно превышающими нормативы ПДВ, выбросами пыли в окружающую среду застроенных территорий.

Анализ научно-технической литературы и проектных решений показал, что по условиям технологии для решения задачи снижения пылепоступлений в городскую воздушную среду в рассматриваемом производстве возможна только сухая очистка пылевых выбросов, и что с этой целью чаще всего используются циклоны. Однако опыт эксплуатации систем обеспыливания на предприятиях отрасли показывает, что применяемые в настоящее время установки пылеочистки не обеспечивают необходимой степени уменьшения пылепоступлений. Особенно это относится к мелкодисперсным частицам PM_{10} и $PM_{2,5}$, содержание которых в атмосферном воздухе населенных мест в настоящее время регламентируется повышенными требованиями. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на разработку решений, обеспечивающих высокую степень сокращения поступлений пыли в атмосферный воздух при производстве газобетона и газобетонных строительных конструкций.

Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «Ростовский государственный строительный университет» и ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет».

Степень разработанности темы. Вопросами защиты окружающей среды от негативного воздействия пылевых выбросов при производстве строительных материалов и конструкций занимались многие исследователи – Азаров В.Н., Балтеренас П.С., Банит Ф.Г., Беспалов В.И., Бобровников Н.А., Богуславский

Е.И., Мензелинцева Н.В., Минко В.А., Примаков А.В., Сидоренко В.Ф., Сергина Н.М. и другие. В некоторых из работ этих авторов приводятся схемы компоновки систем обеспыливания выбросов от организованных источников, которые предполагают использование практически всех типов пылеуловителей (сухих и мокрых циклонов, скрубберов, рукавных фильтров и электрофильтров). Однако, как уже отмечалось, в рассматриваемом производстве преимущественно применяются сухие методы очистки.

В настоящей работе проведены исследования по оценке влияния пылевых выбросов в производстве газобетона и строительных конструкций из него на качество атмосферного воздуха, по оценке фракционного состава пыли, поступающей в систему пылеочистки, содержащейся в выбросах и в атмосферном воздухе. Разработаны схемы компоновки системы обеспыливания и разработаны методические основы проведения расчетной оценки степени снижения выбросов пыли в атмосферный воздух при использовании предложенных схем. Проведена экспериментальная оценка степени снижения выбросов пыли в атмосферный воздух при использовании каждого из предложенных вариантов.

Цель и задачи работы. Целью работы является обеспечение экологической безопасности производства газобетона и газобетонных строительных конструкций посредством повышения эффективности систем для защиты городской воздушной среды от загрязнения пылевыми выбросами.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- анализ технологических процессов производства газобетона и строительных конструкций из него как источников загрязнения городской воздушной среды выбросами пыли;
- анализ существующих методов и средств обеспыливания выбросов в промышленности строительных материалов;
- проведение экспериментальных исследований по оценке влияния пылевых выбросов от источников цеха по производству газобетона и газобетонных блоков на качество воздуха нормируемых территорий, включающих: обследование систем локализации и очистки пылевых выбросов; инструментальное определение концентрации пыли в выбросах и в атмосферном воздухе; анализ фракционного состава пыли, образующейся при производстве газобетона и газобетонных блоков, поступающей в систему пылеочистки и в городской атмосферный воздух; изучение основных свойств исследуемой пыли; оценку уровня загрязнения городской воздушной среды частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$;
- разработка технических решений по снижению пылевых выбросов в атмосферу при производстве газобетона и газобетонных строительных конструкций;

- расчетная оценка степени снижения выбросов пыли в атмосферу при использовании предложенных решений;
- проведение опытно-промышленных испытаний для определения степени снижения пылепоступлений в окружающую среду, достигаемой в результате применения разработанных решений, а также для оценки энергозатрат на проведение процессов пылеочистки.

Научная новизна:

- получены системы расчетных уравнений для теоретической оценки степени снижения пылевых выбросов в городскую воздушную среду при использовании предложенных схем компоновки установок обеспыливания;
- предложена систематизация балансовых уравнений для унификации расчетной оценки степени снижения пылевых выбросов в городскую воздушную среду при использовании различных схем компоновки установок обеспыливания в производстве строительных материалов;
- по результатам экспериментальных исследований, проведенных в промышленных условиях, выявлены зависимости, характеризующие степень снижения пылевых выбросов в атмосферу при производстве газобетона и газобетонных блоков для двух вариантов компоновки системы пылеочистки;
- на основе результатов опытно-промышленных исследований получены зависимости для оценки энергозатрат на проведение процессов обеспыливания выбросов в атмосферу при производстве газобетона и газобетонных блоков для двух вариантов компоновки системы пылеочистки.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- на основе анализа балансов пылевых и воздушных потоков в системах обеспыливания разработаны методические основы расчетной оценки степени снижения пылевых выбросов в городскую воздушную среду при использовании в производстве строительных материалов этих систем с различными схемами компоновки;
- применительно к проблематике диссертации результативно использованы: экспериментальные методики для оценки величины снижения массы пылепоступлений в окружающую среду при применении разработанных вариантов схем компоновки систем пылеочистки в производстве газобетона и газобетонных блоков; экспериментальные методики определения основных свойств пыли; методика микроскопического анализа фракционного состава пыли;
- приведены экспериментальные зависимости для оценки степени снижения пылевых выбросов в атмосферу, а также для оценки энергозатрат на проведение процессов обеспыливания при производстве газобетона и газобетонных блоков для двух вариантов компоновки системы пылеочистки;

- изучено влияние технологических процессов производства газобетона и газобетонных блоков на уровень пылевого загрязнения городской воздушной среды;

- разработаны системы очистки пылевых выбросов в производстве газобетона и газобетонных блоков; новизна разработки подтверждена патентом РФ № 155711;

- определены пределы и перспективность практического использования разработанных систем очистки пылевых выбросов в производстве газобетона и газобетонных блоков;

- на промышленной базе ОП ООО «Масикс» проведены опытно-промышленные испытания предложенной системы обеспыливания выбросов.

Методология и методы диссертационного исследования включали в себя: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов; планирование физического эксперимента; проведение лабораторных, натурных и опытно-промышленных исследований; обработку экспериментальных данных методами математической статистики и корреляционного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

- полученные системы расчетных уравнений для теоретической оценки степени снижения пылевых выбросов в городскую воздушную среду при использовании предложенных схем компоновки установок обеспыливания;

- предложенная систематизация балансовых уравнений для унификации расчетной оценки степени снижения пылевых выбросов в атмосферный воздух города при использовании различных схем компоновки установок обеспыливания в производстве строительных материалов;

- установленные по результатам экспериментальных исследований, проведенных в промышленных условиях, зависимости, характеризующие степень снижения пылевых выбросов в атмосферу при производстве газобетона и газобетонных блоков для двух вариантов компоновки системы пылеочистки;

- полученные на основе результатов опытно-промышленных исследований зависимости для оценки энергозатрат на проведение процессов обеспыливания выбросов в атмосферу при производстве газобетона и газобетонных блоков для двух вариантов компоновки системы пылеочистки.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована применением классических положений теоретического анализа, планированием необходимого объема экспериментов, подтверждена удовлетворяющей требуемым критериям сходимостью полученных результатов экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и промышленных условиях, с результатами других авторов.

Основные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на: международной научно-технической конференции Industrial Engineering (Челябинск, 2016 г.); международной научно-технической конференции MATEC Web of Conferences International Science Conference SPbWOSCE-2016 «SMART City» (2017 г.); международной научной конференции International scientific conference EMSUDT-2017 «Energy Management for Sustainable Urban Development and Transport» (Черногория, 2017 г.); международных научно-практических конференциях «Строительство-2013. Строительство-2014. Современные проблемы промышленного и гражданского строительства» (г. Ростов-на-Дону, 2013 г. 2014 г.); VIII международной научно-практической конференции «Современная наука: тенденции развития» (г. Краснодар, 2014 г.); XIV международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (г. Новосибирск, 2014 г.); международном форуме «Инновации в сфере жизнедеятельности человека XXI века (г. Ростов-на-Дону, 2016 г.); ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет» (г. Волгоград, 2013-2015 г.г.); ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет» (г. Ростов-на-Дону, 2013-2015 г.г.).

Основные результаты исследований по теме диссертации изложены в 21 работе, в том числе: в 3 статьях, опубликованных в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science; в 8 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях; в 1 патенте РФ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность разрабатываемой темы, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения об апробации результатов проведенных исследований.

В первой главе приводятся основные результаты аналитического обзора известных научно-технических источников и обосновывается выбор направления исследований.

Проведенный анализ показал, что большинство технологических операций в производстве газобетона и строительных конструкций из него сопровождается поступлением в атмосферный воздух значительного количества пыли. При этом

в атмосферный воздух поступает пыль, характеризующаяся разнообразным составом: взвешенные вещества, известь, пыль неорганического гипсового вяжущего, пыль с различным содержанием диоксида кремния, цементная пыль и др.

Для очистки пылевых выбросов в цехах по производству газобетона применяются сухие методы, т. к. это обусловлено технологией производства, и для этой цели чаще всего используются циклоны. Однако, несмотря на простоту конструкции, надежность работы, малые габаритные размеры, низкие энергозатраты и эксплуатационные расходы, эти аппараты, даже при двухступенчатой установке, не обеспечивают необходимой степени сокращения выбросов в атмосферу пыли, образующейся при производстве строительных материалов. Во многих случаях это приводит к превышению гигиенических нормативов по содержанию в атмосферном воздухе населенных пунктов частиц с размерами менее 10 мкм и 2,5 мкм.

В настоящее время на многих предприятиях строительной и других отраслей промышленности в системах обеспыливания выбросов в атмосферу применяют инерционные пылеуловители со встречными закрученными потоками (ВЗП), которые по сравнению с циклонами обладают рядом преимуществ. По данным некоторых авторов повышение эффективности пылеуловителей ВЗП может быть обеспечено при организации отсоса из бункера и при подаче на нижний и верхний вводы потоков с разным содержанием пыли. Поэтому для организации разделения газопылевого потока на потоки с большей и меньшей концентрацией пылевых частиц может быть использована установка дополнительных аппаратов ВЗП.

Изложенное выше послужило основанием для выбора направления исследований по снижению уровня пылевого загрязнения городской воздушной среды на основе разработки и исследования компоновочных схем систем очистки пылевых выбросов для производства газобетона и газобетонных строительных изделий с использованием ВЗП, с организацией отсоса из бункерной зоны пылеуловителей, и с установкой дополнительного аппарата на рециркуляционным воздуховоде.

Во второй главе приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке влияния пылевых выбросов в производстве газобетона на качество воздуха нормируемых территорий.

При разработке мероприятий по снижению массы пылевых выбросов в атмосферный воздух, был проведен анализ крупности пыли, выделяющейся от технологического оборудования при производстве газобетонных блоков. Некоторые из результатов приведены на рисунке 1. Полученные данные

показали, что после используемой системы обеспыливания выбросов с циклонами ЦН-11 в атмосферный воздух поступает, например, пыль извести,

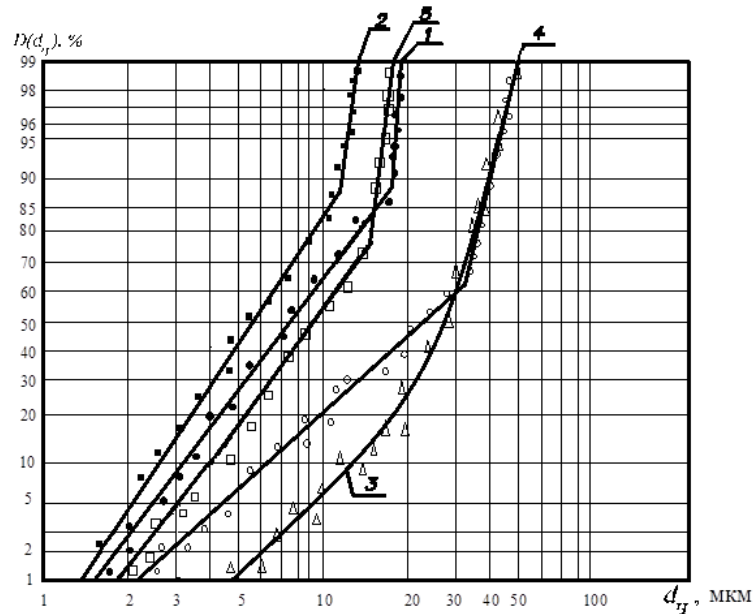


Рисунок 1 – Интегральные функции пофракционного распределения массы частиц пыли, поступающей с систему аспирации от транспортера исходных материалов.

1, 2 – при транспортировании извести до циклона и после циклона соответственно; 3-5 - при транспортировании песка, гипсового камня, цемента соответственно

показали, что после используемой системы обеспыливания выбросов с циклонами ЦН-11 в атмосферный воздух поступает, например, пыль извести, частицы которой имеют медианный диаметр 5,5 мкм и диапазон изменения крупности от 1,5 до 15 мкм. От поста дробления в атмосферный воздух после очистки поступают частицы пыли с медианным диаметром 12 мкм и диапазоном изменения размеров от 1,8 до 18 мкм.

На рисунке 2 приведены результаты оценки фракционного состава пыли, содержащейся в атмосферном воздухе на территории промплощадки и на границе санитарно-защитной зоны в теплый период года. Анализ полученных данных показывает присутствие частиц мелкодисперсной пыли размером менее 10 мкм.

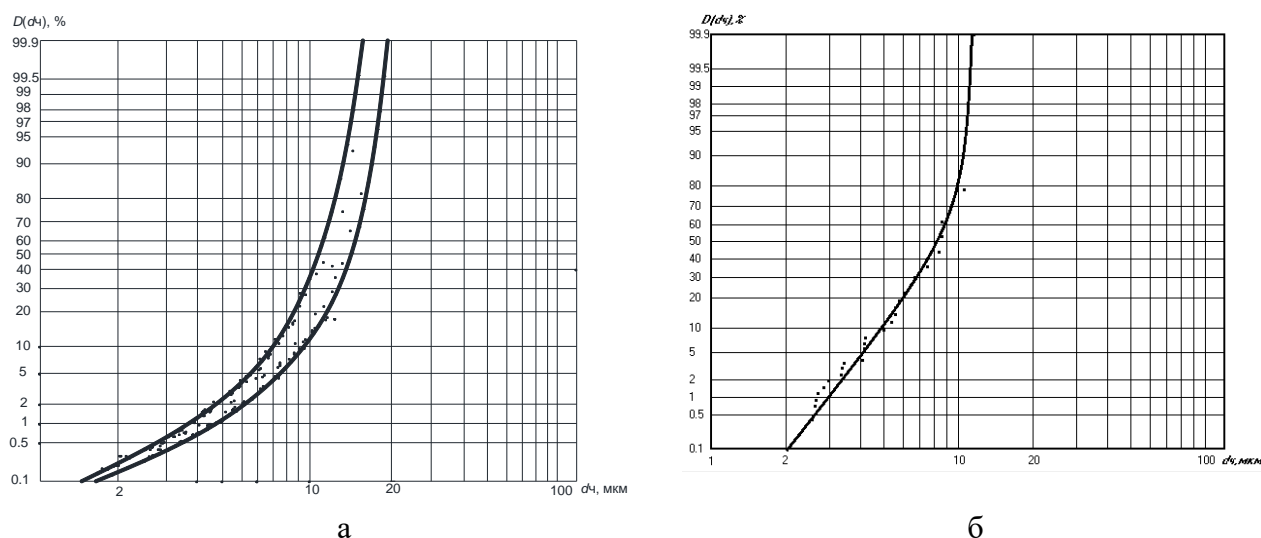


Рисунок 2 – Результаты оценки фракционного состава пыли в атмосферном воздухе на:
а – территории промплощадки; б - границе санитарно-защитной зоны

Представленные результаты свидетельствуют о том, что в атмосферном воздухе на территории промплощадки доля частиц колеблется для PM_{10} - от 12 % до 40 %, для $PM_{2,5}$ - от 0,3 % до 0,5 %. Медианный диаметр частиц составляет 11-15 мкм. Размеры частиц изменяются в пределах от 1,5 до 20 мкм. В атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны на долю частиц PM_{10} приходится 80% массы пыли, на долю частиц $PM_{2,5}$ – 0,5%. Пылевые частицы имеют медианный диаметр 8,2 мкм и пределы изменения размера от 2 мкм до 12 мкм. По результатам измерений общей концентрации пыли в атмосферном воздухе и по данным об ее дисперсном составе установлено, что при производстве строительных блоков из газобетона в результате недостаточной степени обеспыливания выбросов может отмечаться превышение содержания частиц PM_{10} , предельно допустимая концентрация которых для воздуха населенных мест установлена 0,3 мг/м³. Превышение установленных нормативов по концентрации частиц $PM_{2,5}$ не выявлено (таблица 1).

Таблица 1 - Концентрация частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе

Место отбора проб	Общая концентрация, мг/м ³	PM_{10}		$PM_{2,5}$	
		содержание, %	концентрация, мг/м ³	содержание, %	концентрация, мг/м ³
Территория промплощадки	0,8	12-40	0,096-0,32	0,3-0,5	0,002-0,004
Граница санитарно-защитной зоны	0,44	80	0,32	0,5	0,0022

Для достижения поставленной в работе цели предложены два варианта схем компоновки для снижения пылевых выбросов в атмосферный воздух с аппаратами ВЗП, описание которых и расчетная оценка эффективности приводятся в **третьей главе**.

На рисунке 3 показаны разработанные варианты компоновки системы обеспыливания выбросов. Предлагаемые решения (рисунок 3) позволяют:

- вследствие организации отсоса из бункерной зоны повысить эффективность аппарата второй ступени, что приведет к повышению степени очистки всей системы в целом;

- вследствие организации отсоса из бункерной зоны снизить аэродинамическое сопротивление второго пылеуловителя, что предотвратит значительное возрастание потерь давления во всей системе, обусловленное установкой дополнительного оборудования;

- вследствие подачи на верхний и нижний входы пылеуловителей первой и второй ступени пылевоздушных потоков с разной концентрацией обеспечить повышение его эффективности, что, в свою очередь, приведет к возрастанию эффективности системы в целом и, соответственно, к большему снижению проскока пыли в атмосферу.

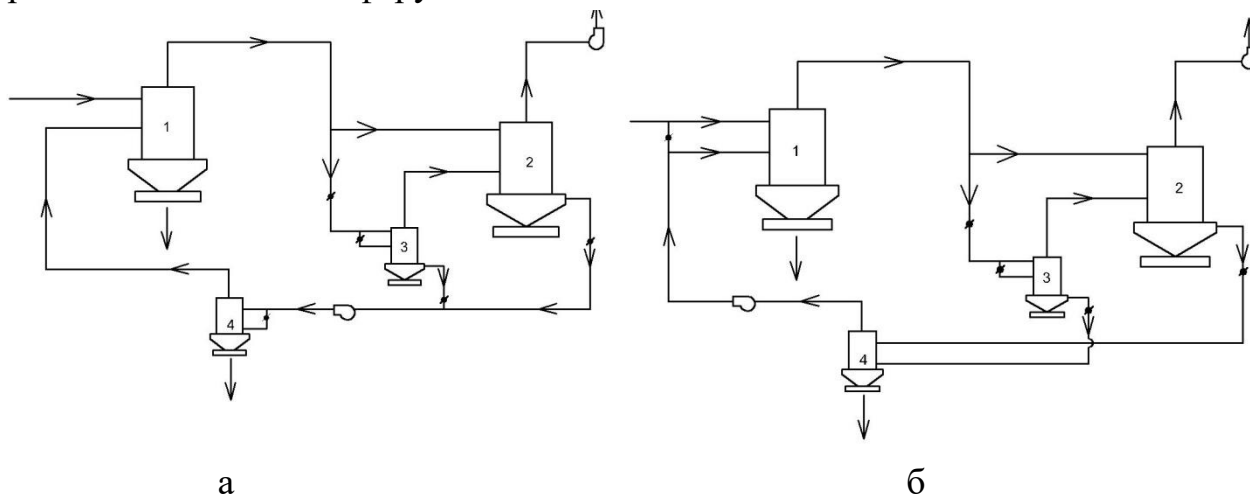


Рисунок 3 – Схемы компоновки систем обеспыливания выбросов для производства газобетона:

а – первый вариант; 2 – второй вариант.

1, 2 – основные аппараты ВЗП; 3, 4 – дополнительные аппараты ВЗП

Расчетная оценка эффективности предложенных систем проведена на основе решения систем балансовых уравнений воздушных и пылевых потоков. В качестве примера проведем такую оценку для системы, скомпонованной по первому варианту.

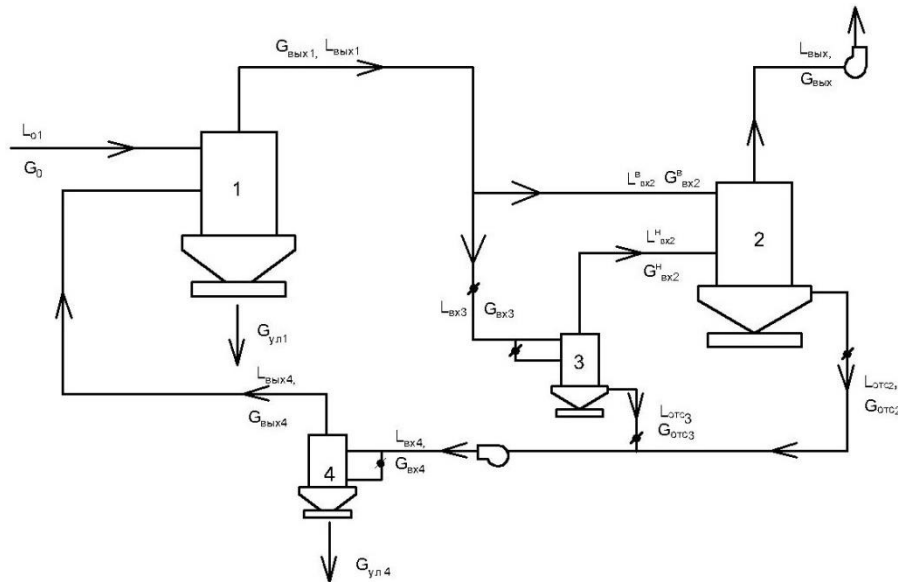


Рисунок 4 – Расчетная схема системы, скомпонованной по первому варианту

В соответствии с расчетной схемой (рисунок 4) система балансовых уравнений воздушных потоков имеет вид

$$\begin{cases} L_0 + L_4 = L_{\text{вх}3} + L_{\text{вх}2}^{\text{B}}; \\ L_{\text{вх}2}^{\text{B}} + L_{\text{вх}2}^{\text{H}} = L_{\text{вых}} + L_{\text{отс}2}; \\ L_{\text{вх}3} = L_{\text{вх}2}^{\text{H}} + L_{\text{отс}3}; \\ L_4 = L_{\text{отс}2} + L_{\text{отс}3}. \end{cases} \quad (1)$$

Система балансовых уравнений пылевых потоков

$$\begin{cases} G_0 + G_4 = G_{\text{вых}1} + G_{\text{ул}1}; \\ G_{\text{вых}1} = \varepsilon_1(G_0 + G_4); \\ G_{\text{вх}2}^{\text{B}} = \frac{L_2^{\text{B}}}{L_0 + L_4} G_{\text{вых}1}; \\ \frac{L_{\text{B}}}{L_0 + L_4} G_{\text{вых}1} = G_{22} + G_{34}; \\ G_{\text{вх}2}^{\text{B}} + G_{\text{вх}2}^{\text{H}} = G_{\text{вых}} + G_{\text{отс}2}; \\ G_{\text{вх}2}^{\text{H}} = \varepsilon_3 G_{\text{вх}3}; \\ G_{\text{вых}} = \varepsilon_2(G_{\text{вх}2}^{\text{B}} + G_{\text{вх}2}^{\text{H}}); \\ G_{\text{вх}4} = G_{\text{вх}4} + G_{\text{ул}4}; \\ G_{\text{вх}4} = G_{\text{отс}2} + G_{\text{отс}3}; \\ G_{\text{вых}4} = \varepsilon_4 G_{\text{вх}4}. \end{cases} \quad (2)$$

При этом

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1(L_0; L_4/L_0; G_4/G_0); \varepsilon_2 = \varepsilon_2(L_{\text{вх}2}^{\text{H}}/L_{\text{вх}2}^{\text{B}}; L_{\text{отс}2}; G_{\text{вх}2}^{\text{H}}/G_{\text{вх}2}^{\text{B}}); \\ \varepsilon_3 = \varepsilon_3(L_{\text{вх}3}^{\text{H}}/L_{\text{вх}3}^{\text{B}}; L_{\text{отс}3}); \varepsilon_4 = \varepsilon_4(L_{\text{вх}4}^{\text{H}}/L_{\text{вх}4}^{\text{B}}).$$

Представим функцию проскока ε_i в виде

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i0} + a_1(\bar{L}_i - \bar{L}_{i0})^2 + a_2(\bar{L}_{i \text{ нижн}} - \bar{L}_{i \text{ нижн } 0}) + a_3(\bar{L}_{i \text{ отс } i} - \bar{L}_{i \text{ отс } 0})^2 + \\ + a_4(c_i - c_{i0})^2, (3)$$

и перепишем константы и параметры в следующем виде

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i0} + \sum_{i=1}^4 a_i (x_i - x_{i0})^2 \quad (4)$$

где индексы $i = 1, 2, 3, 4$ соответственно обозначают общий расход, долю расхода, поступающего в нижний вход, долю расхода, поступающего в отсос, концентрацию.

Обозначим аппараты ВЗП в схеме индексами $j = 1 \div 4$. Пусть индексы, характеризующие для каждого аппарата вход или выход, имеют вид: $k = 1$ – верхний вход; $k = 2$ – нижний вход; $k = 3$ – отсос; $k = 4$ – улавливание; $k = 5$ – выход. Для универсальности предлагаемого подхода расчетной оценки эффективности предлагаемых технических решений систематизируем все уравнения по трем группам:

I группа	II группа	III группа
уравнения неразрывности	уравнения эффективности (проскока)	уравнения, характеризующие особенности компоновки системы
$y_{j1} + y_{j2} = y_{j3} + y_{j4},$ $j = 1, 2, 3, 4;$	$y_{j4} = \varepsilon_j (y_{j1} + y_{j2}),$ $j = 1, 2, 3, 4;$	$y_{11} = 1;$ $y_{12} = y_{44};$ $y_{21} = k_{12} y_{14};$ $y_{31} + y_{32} = (1 - k_{12}) y_{14};$ $y_{32} = k_{33} (y_{31} + y_{32});$ $y_{22} = y_{34};$ $y_{44} = y_{23} + y_{33};$ $y_{42} = k_{44} (y_{23} + y_{33}).$

Для решения системы методом последовательных приближений запишем ее в виде

$$SY = B \rightarrow Y = BS^{-1}$$

где Y – вектор характеристик пылеуловителя; B – вектор исходных данных, который составлен из свободных членов системы уравнений.

Блок-схема решения этой задачи приведена на рисунке 5. Первоначально выбираем значения $G_0, L_0, k_{12}, k_{33}, k_{44}$. Затем задаем значение ε_i из расчета, что входная концентрация в аппарат $c_{j1} = c_0$ и $c_{j2} = c_0$. Затем строим матрицу S . Находим обратную матрицу S^{-1} . Вычисляем вектор Y . Из уравнения находим эффективность всей системы как

$$\frac{y_{24}}{y_{11}}$$

Для всех $j = 1 \div 4$ вычисляем значения

$$\varepsilon_j = \frac{y_{j4}}{y_{j1} + y_{j2}}$$

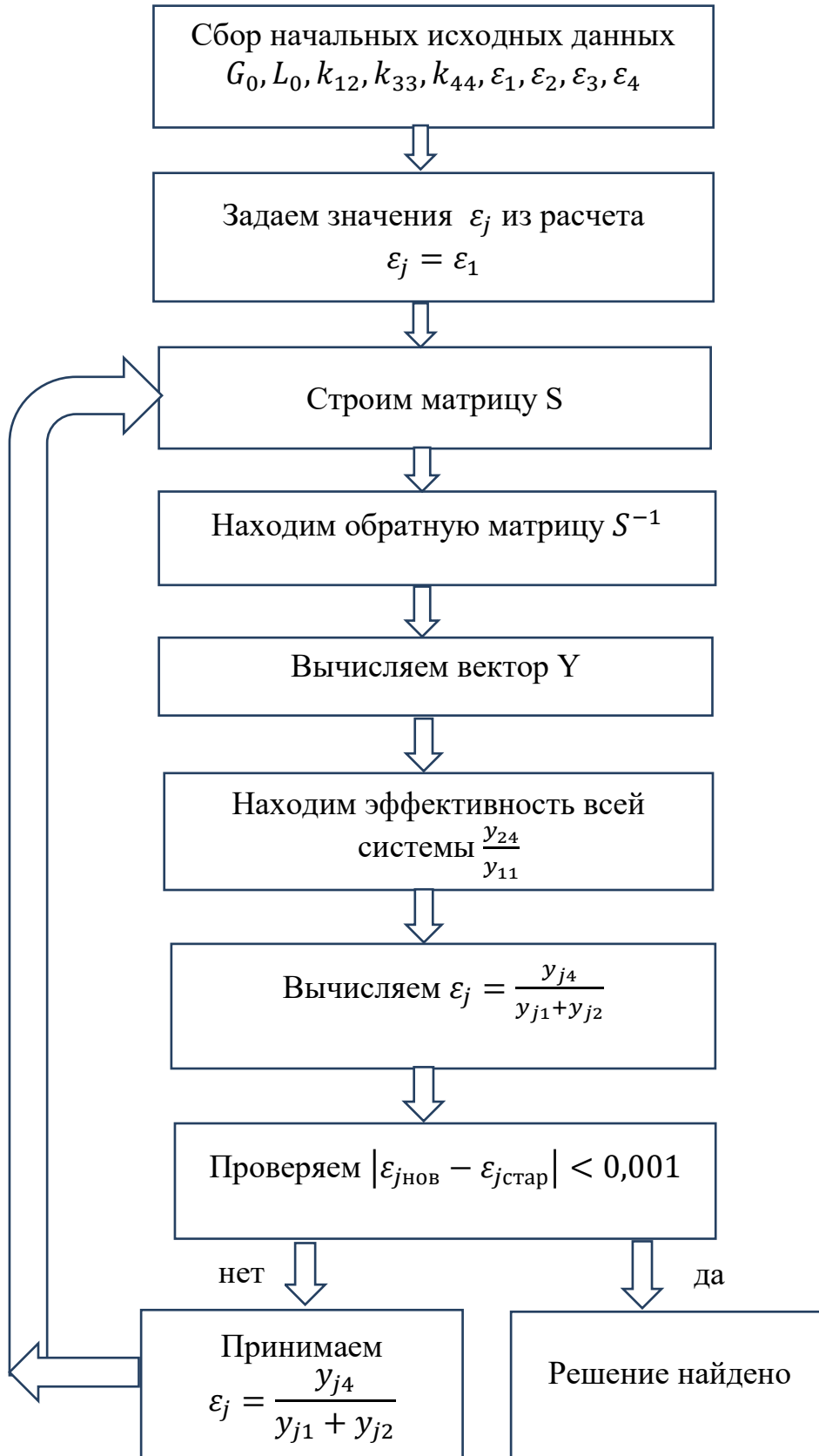


Рисунок 5 - Блок-схема решения задачи

Если для всех j выполняется условие $|\varepsilon_{j\text{нов}} - \varepsilon_{j\text{стар}}| < 0,001$, то решение найдено, и эффективность системы ε определена. Если условие не выполняется, то вычисляем новые значения y_i , переходим вверх и снова проводим вычисления, до тех пор, пока указанное условие не будет выполняться.

Таким образом, полученное значение ε системы позволяет при заданных соотношениях расхода внутри системы рассчитать эффективность всей системы. При этом величина ε_1 существенно зависит от расхода L_0 , соотношения расходов L_4/L_0 , соотношения концентраций c_4/c_0 , размера d_{50} на входе в первый пылеуловитель. Аналогично ε_j зависит от параметров на входе в этот пылеуловитель и величины отсоса из 3 и 4 пылеуловителей.

Четвертая глава посвящена экспериментальной оценке эффективности предложенных решений по снижению пылевых выбросов в городскую воздушную среду при производстве газобетона.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На этапе предварительного эксперимента определялось соотношение диаметров основных и дополнительных пылеуловителей \bar{D} ($\bar{D} = D_3/D_1 = D_3/D_2 = D_4/D_1 = D_4/D_2$), при котором обеспечивается наименьший проскок пыли. Полученные результаты (рисунок 6) показали, что наименьшая величина проскока $\varepsilon_{\text{сист}}$ обеспечивается при значениях $\bar{D} = 0,4-0,5$ (рисунок 6, а). При последующем увеличении диаметра дополнительного пылеуловителя скорость пылевоздушного потока в нем снижается, что приводит к возрастанию $\varepsilon_{\text{сист}}$. Однако при $\bar{D} < 0,5$ резко возрастает аэродинамическое сопротивление дополнительного аппарата (рисунок 6, б), что влечет за собой повышение затрат на проведение процессов пылеочистки. Исходя из этого, можно считать, что наиболее рациональным является соотношение $\bar{D} = 0,5$.

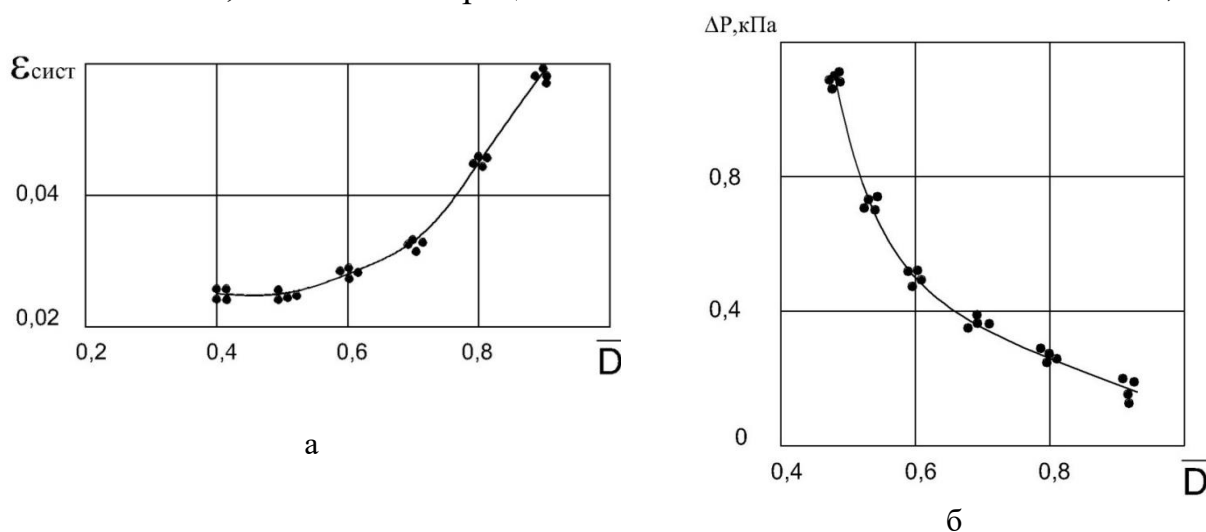


Рисунок 6 – Результаты предварительного эксперимента: а - зависимость величины проскока пыли от соотношения диаметров; б – зависимость потерь давления в дополнительном пылеуловителе от соотношения диаметров

На этапе основного эксперимента был реализован центральный композиционный рототабельный план при следующих определяющих факторах: расход воздуха, поступающего в систему на очистку, отнесенный к $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (\bar{L}_0); доля (от поступающего на очистку в систему) расхода, отсасываемого из бункера аппарата 2 ($\bar{L}_{\text{отс}2} = L_{\text{отс}2}/L_0$); доля (от поступающего на очистку в систему) расхода, отсасываемого из бункера аппарата 3 ($\bar{L}_{\text{отс}3} = L_{\text{отс}3}/L_0$). При обработке экспериментальных данных по критерию Стьюдента проверялась значимость коэффициентов уравнения регрессии, и его адекватность проверялась по критерию Фишера.

В качестве примера на рисунке 7 представлены некоторые результаты экспериментальной оценки величины проскока пыли в атмосферу в зависимости от определяющих факторов, для системы, скомпонованной по первому варианту (рисунок 3, а).

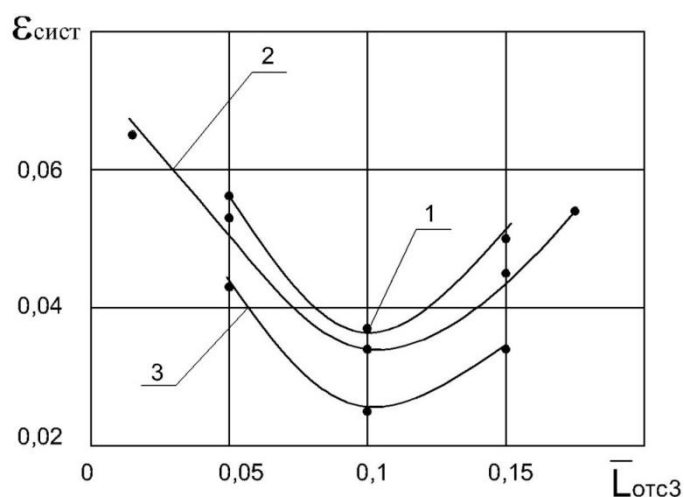


Рисунок 7 – Зависимость величины проскока от расхода, отсасываемого из бункера дополнительного пылеуловителя при $\bar{L}_{\text{отс}2} = 0,20$ и при:

1 - $\bar{L}_0 = 5,4$; 2 - $\bar{L}_0 = 7,2$; 3 - $\bar{L}_0 = 9,0$.

• - экспериментальные значения; — - расчетные данные по выражению (5)

Результаты экспериментальных исследований показали, что с увеличением расхода пылевоздушной смеси снижается проскок пыли в атмосферный воздух, что обусловлено повышением скорости потока в пылеуловителях. Полученные данные также свидетельствуют о том, что наименьший проскок пыли обеспечивается при изменении доли расхода, отсасываемого из бункера пылеуловителя второй ступени, в пределах $0,17 \leq \bar{L}_{\text{отс}2} \leq 0,22$ и изменении доли расхода, отсасываемого из бункера дополнительного аппарата 3 в пределах $0,08 \leq \bar{L}_{\text{отс}3} \leq 0,12$, поскольку при таких сочетаниях верхних пределов $\bar{L}_{\text{отс}2}$ с нижними пределами $\bar{L}_{\text{отс}3}$ и наоборот обеспечивается такое соотношение расходов, подаваемых на нижний и верхний входы аппарата первой ступени, при

котором достигается наибольшая эффективность пылеуловителей ВЗП. Уравнение регрессии имеет вид

$$\varepsilon_{\text{сист}} = 0,0266 + 8,04(\bar{L}_{\text{отс2}} - 0,186)^2 + 5,04(\bar{L}_{\text{отс3}} - 0,118)^2 - 0,0008(\bar{L}_0 - 4,6)^2 + 0,0123\bar{L}_{\text{отс3}}\bar{L}_0 \quad (5)$$

при $9,4 \leq \bar{L}_0 \leq 5,4$; $0,15 \leq \bar{L}_{\text{отс2}} \leq 0,25$; $0,05 \leq \bar{L}_{\text{отс3}} \leq 0,15$

Для оценки энергозатрат на реализацию процессов обеспыливания в рассматриваемой установке был определен коэффициент аэродинамического сопротивления $\zeta_{\text{сист}}$ как отношение суммарных потерь давления в пылеуловителях первой и второй ступени к динамическому давлению, рассчитанному по средней скорости потока в основном пылеуловителе. Некоторые из полученных данных в качестве примера показаны на рисунке 8.

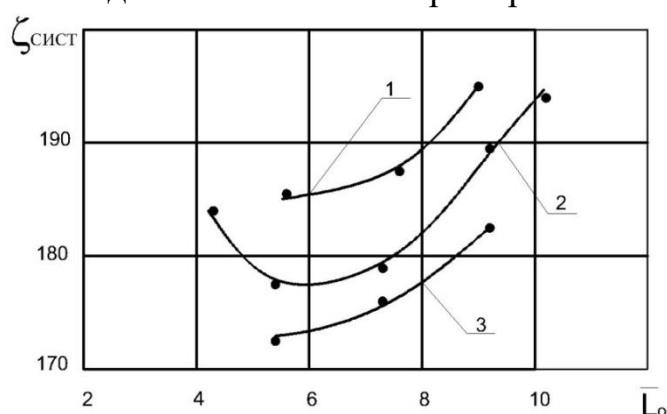


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления $\zeta_{\text{сист}}$ от расхода пылевоздушной смеси, подаваемой на очистку в систему обеспыливания при:

1 - $\bar{L}_{\text{отс2}} = 0,15$; 2 - $\bar{L}_{\text{отс2}} = 0,20$; 3 - $\bar{L}_{\text{отс2}} = 0,25$.

• - экспериментальные значения; — - расчетные данные по выражению (6)

При этом

$$\zeta_{\text{сист}} = 174,3 + 0,904 (L_0 - 4,9)^2 + 388(L_{\text{отс2}} - 0,355)^2 \quad (6)$$

при $5,4 \leq \bar{L}_0 \leq 9$; $0,15 \leq \bar{L}_{\text{отс2}} \leq 0,25$; $0,05 \leq \bar{L}_{\text{отс3}} \leq 0,15$

Анализ полученных данных показывает, что наименьшее аэродинамическое сопротивление система обеспыливания выбросов, скомпонованная по первому варианту, имеет при $\bar{L}_0 = 5,4$ и $\bar{L}_{\text{отс2}} = 0,25$.

Таким образом, наименьшие величины проскока пыли достигаются при изменении доли расхода, отсасываемого из бункера пылеуловителя второй ступени, в пределах $0,17 \leq \bar{L}_{\text{отс2}} \leq 0,22$ и $7,2 \leq \bar{L}_0 \leq 9,4$. С другой стороны, наименьшие энергетические затраты на проведение процесса пылеочистки, обеспечиваются при $0,20 \leq \bar{L}_{\text{отс2}} \leq 0,25$ и при $5,4 \leq \bar{L}_0 \leq 7,2$. С учетом этого, наиболее рациональными целесообразно принять следующие режимы работы системы для снижения запыленности выбросов, скомпонованной по первому из предложенных вариантов: изменение доли расхода, отсасываемого из бункера пылеуловителя второй ступени, в пределах $0,17 \leq \bar{L}_{\text{отс2}} \leq 0,22$; изменение

доли расхода, отсасываемого из бункера дополнительного аппарата 3 в пределах $0,08 \leq \bar{L}_{отс3} \leq 0,12$; изменение расхода пылевоздушной смеси, подаваемой в систему, в пределах $5,4 \leq \bar{L}_0 \leq 7,2$.

Полученные результаты также свидетельствуют о том, что система обеспыливания, скомпонованная по второму варианту (рисунок 3, б), в сравнении с первым вариантом, характеризуется значительными энергозатратами на проведение процессов пылеочистки. С учетом этого, а также с учетом того, что в рассматриваемом случае величина проскока пыли в атмосферу выше, к практическому использованию следует рекомендовать систему очистки выбросов, скомпонованную по первому варианту.

Система обеспыливания выбросов для производства газобетона и газобетонных блоков прошла опытно-промышленные испытания на промышленной базе ОП ООО «Масикс». Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты сопоставления характеристик традиционно используемой и предложенной систем пылеочистки

Оцениваемый параметр	Тип системы	
	традиционная	предложенная
Концентрация пыли в потоке на выходе из системы, мг/м ³	109	12,3
Содержание частиц РМ ₁₀ в выбросе, %	40	24
Содержание частиц РМ _{2,5} в выбросе, %	0,5	0,4
Концентрация частиц РМ ₁₀ в потоке на выходе из системы, мг/м ³	43,6	1,7
Концентрация частиц РМ _{2,5} в потоке на выходе из системы, мг/м ³	0,55	0,2
Проскок системы $\varepsilon_{\text{сист}}$, %	11,6	5,7
Масса пыли, выбрасываемой в атмосферу, г/ч	796	89,8
Потери давления в системе, Па	1960	1740

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дается решение актуальной задачи по обеспечению защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от негативных воздействий пылевых выбросов, образующихся при производстве газобетона и строительных изделий на его основе.

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

1. По результатам исследований, проведенных в условиях реально действующего предприятия по производству газобетона и газобетонных блоков, установлено, что при использовании традиционных систем очистки пылевых выбросов с циклонами в атмосферный воздух выбрасывается пыль, до 100 % массы которой приходится на частицы с размерами до 20 мкм. При этом их медианный диаметр равен 12 мкм, доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM_{10}) составляет 40 %, доля частиц с размерами менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) - 0,5%. Значения доли частиц в атмосферном воздухе на территории промплощадки летом колеблются: для PM_{10} - от 12 % до 40 %; для $PM_{2,5}$ - от 0,3 % до 0,5 %. На границе санитарно-защитной зоны эти значения составляют 80% и 0,5% соответственно.

2. На основе данных, полученных в натурных условиях, отмечено превышение содержания частиц PM_{10} в атмосферном воздухе на территории промплощадки и на границе санитарно-защитной зоны над ПДК, установленной для таких частиц для воздушной среды населенных пунктов.

3. Для снижения пылепоступлений в атмосферу при производстве газобетона и строительных изделий на его основе предложены два варианта компоновки систем обеспыливания выбросов с двумя последовательно установленными пылеуловителями ВЗП, двумя дополнительными аппаратами с меньшими размерами, с организацией отсоса из бункера основного пылеуловителя второй ступени и из бункера одного из дополнительных аппаратов. Первый вариант компоновки предполагает объединенную подачу рециркуляционного потока во второй из дополнительных аппаратов. Второй вариант компоновки системы обеспыливания предполагает отдельную подачу рециркуляционных потоков во второй из дополнительных аппаратов.

4. Разработаны методические основы расчетной оценки степени снижения пылевых выбросов в городскую воздушную среду при использовании в промышленности строительных материалов установок пылеочистки с различными схемами компоновки, включающие в себя: систему расчетных уравнений; систематизацию расчетных уравнений по следующим группам – балансовые уравнения; уравнения проскока пыли (уравнения эффективности);

уравнения, характеризующие особенности схемы компоновки системы обеспыливания выбросов; блок-схему расчета степени снижения пылепоступлений в атмосферный воздух.

5. По результатам опытно-промышленных исследований установлены зависимости, характеризующие степень снижения выбросов пыли в атмосферу, а также выявлены диапазоны изменения режимно-конструктивных параметров предложенных систем пылеочистки, при которых обеспечиваются наименьшие пылепоступления в окружающую среду и наименьшие энергозатраты на проведение процессов обеспыливания выбросов в производстве газобетона и строительных конструкций на его основе.

6. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что использование предложенной системы пылеочистки содержание частиц PM_{10} в потоке, выбрасываемом в атмосферный воздух после системы обеспыливания выбросов сократилось на 40%, содержание частиц $PM_{2,5}$ – на 20%.

При этом выброс пыли в атмосферу сократился в 8,9 раз.

Предотвращенный экологический ущерб от выбросов пыли в атмосферу при оснащении только одной системы аспирации предложенной системой пылеочистки составил 23900 руб./год.

Благодаря полученным зависимостям в работе были даны практические **рекомендации** по снижению массы выбросов пыли в атмосферный воздух и по снижению затрат электроэнергии на проведение процессов очистки выбросов пыли при производстве газобетона и газобетонных строительных конструкций. В том числе, намечены **перспективы дальнейшей разработки** исследуемой темы, заключающиеся в результатах исследования загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science:

1. Kondratenko, T. O. The principles of the layout and evaluation of systems for protection from dust pollution of the air [Electronic resource] / N. Sergina, M. Nikolenko, S. Pushenko, T. Kondratenko //Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2018. - Vol. 692. - P. 710-719. - (19th International scientific conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017; Khabarovsk; Russian Federation; 10-13 April 2017; Код 209159). – URL : DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_75 // https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_75.

2. Kondratenko, T. O. Problems of protection of urban ambient air pollution from industrial dust emissions [Electronic resource] / V. N. Azarov, N. M.Sergina, T. O. Kondratenko // MATEC Web of Conferences. – 2017. - 106, 07017. - DOI: 10.1051/matecconf/201710607017 // <https://www.matec-conferences.org/articles/>

matecconf/ref/2017/20/matecconf_spbw2017_07017/matecconf_spbw2017_07017.html.

3. Kondratenko, T. O. On inertial systems, dust cleaning and dust removal equipment, and work areas in the production of aerated concrete from the hopper suction apparatus CSF [Text] / A. N. Bogomolov, N. M. Sergina, T. O. Kondratenko // *Procedia Engineering*. - 2016. - V. 150. - pp. 2036-2041.

Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях:

4. Кондратенко, Т. О. Экспериментальная оценка решения по снижению пылевых выбросов в атмосферу в производстве газобетона [Электронный ресурс] / Н. М. Сергина, М. А. Николенко, Т. О. Кондратенко // *Инженерный вестник Дона*. – 2015. - № 1. - Режим доступа :ivdon.ru/magazine/archive/n1y2015.

5. Кондратенко, Т. О. Методы обеспечения экологической безопасности при производстве газобетона [Текст] / Т. О. Кондратенко // *Научное обозрение*. – 2014. – №11. - Ч. 3. - С. 815-817.

6. Кондратенко, Т. О. Схема компоновки системы обеспыливания при производстве газобетона [Текст] / Т. О. Кондратенко // *Научное обозрение*. – 2014. – №11. - Ч. 2. - С. 518-520.

7. Кондратенко, Т. О. Повышение экологической безопасности производства газобетона[Электронный ресурс] / Е. А. Семенова, Т. О. Кондратенко, Л. Я. Соломахина // *Инженерный вестник Дона*. – 2013. - № 3. - Режим доступа :ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013.

8. Кондратенко, Т. О. Анализ конструктивных элементов аппарата ВЗП в инженерно-экологических системах[Текст] / Н. С. Жукова, Т. О. Кондратенко, В. А. Шибаков // *Альтернативная энергетика и экология*. - 2013. - № 12 – С. 62-66.

9. Кондратенко, Т. О. Пути снижения выбросов пыли извести в атмосферу при производстве строительных материалов [Текст] / Н. М. Сергина, Е. А. Семенова, Т. О. Кондратенко // *Альтернативная энергетика и экология*. - 2013. - № 12 – С.48-50.

10. Кондратенко, Т. О. Оценка воздействия строительного производства на окружающую среду [Электронный ресурс] / Т. О. Кондратенко, А. В. Сайбель // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. - № 4. – Ч. 2. - Режим доступа :ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012.

11. Кондратенко, Т. О. Экологическая оценка при выборе строительных материалов для нового строительства, реконструкции и реставрации[Электронный ресурс] / Т. О. Кондратенко, А. В. Сайбель // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. - № 4. – Ч. 2. - Режим доступа :ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012.

Патенты

12. Устройство пылеочистки : пат. 155711 Рос. Федерация; МПК7 В 04 С 9/00. - № 2015117836/15 : заявл. 12.05.15 ; опубл. 20.10.15 ; Бюл. № 29.

Отраслевые издания и материалы конференций

13. Кондратенко, Т. О. Обеспечение экологической безопасности производственного процесса по изготовлению газобетонных изделий [Текст] / Т. О. Кондратенко // Инновации в сфере жизнедеятельности человека XXI века : материалы междунар. форума. – Ростов-на-Дону, 2016. – Вып. 2. – С. 156-157.
14. Кондратенко, Т. О. Повышение экологической безопасности производства газобетонных изделий [Текст] / Т. О. Кондратенко, М. А. Николенко // Приоритетные научные направления: от теории к практике : сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Изд-во ЦНРС, 2014. – С. 106-111.
15. Кондратенко, Т. О. Совершенствование систем пылеочистки в производстве газобетонных изделий [Текст] / Т. О. Кондратенко, М. А. Николенко // Современная наука: тенденции развития : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2014. – Т. 1. – С. 206-210.
16. Кондратенко, Т. О. Исследование основных свойств пыли, выделяющейся при производстве газобетона [Текст] / Т. О. Кондратенко // Современные проблемы промышленного и гражданского строительства («Строительство – 2014») : материалы междунар. науч.-практ. конф.-Ростов-на-Дону : РГСУ, 2014. – С. 56-58.
17. Кондратенко, Т. О. Экологические аспекты производства газобетона [Текст] / Т. О. Кондратенко // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2014. – Вып. 6. – С. 24-26.
18. Кондратенко, Т. О. Пути снижения пылевого загрязнения атмосферного воздуха при производстве газобетонов [Текст] / Т. О. Кондратенко // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2014. – Вып. 6. – С. 28-29.
19. Кондратенко, Т. О. Оценка технологических процессов производства газобетона как источников выделения пыли [Текст] / Т. О. Кондратенко, М. С. Назарова // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2014. – Вып. 6. – С. 26-28.
20. Кондратенко, Т. О. Мобильная аспирационная установка для снижения пылевыделения при погрузо-разгрузочных работах [Текст] / Т. О. Кондратенко, М. А. Николенко, Л. М. Лаврентьева // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2014. – Вып. 6. – С. 45-48.
21. Кондратенко, Т. О. Анализ производства газобетона как источника пылевыделения в атмосферу [Текст] / Т. О. Кондратенко // Современные проблемы промышленного и гражданского строительства («Строительство – 2013») : материалы междунар. науч.-практ. конф.-Ростов-на-Дону : РГСУ, 2013. – С. 18-20.

КОНДРАТЕНКО ТАТЬЯНА ОЛЕГОВНА

**СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОБЕТОНА И ГАЗОБЕТОННЫХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

05.23.19 - Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Подписано в печать «06» марта 2018 г. Заказ № 62 Тираж 100 экз. Печ. л. 1,0
Формат 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать плоская.

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