

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

НЕУМЕРЖИЦКАЯ НАТАЛЬЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ КАК ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛЬЮ**

05.23.19 - Экологическая безопасность строительства и городского
хозяйства

Диссертация на соискание учёной
степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Сидельникова Ольга Петровна

Волгоград, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ИМЕЮЩИХСЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Технологические процессы на деревообрабатывающих предприятиях как источники пылевого загрязнения окружающей среды, их описание и анализ	11
1.2. Методы и средства обеспыливания воздуха окружающей среды при производстве строительных материалов и изделий из древесины	16
1.3. Характеристики пылеулавливающего оборудования в системах аспирации на деревообрабатывающих предприятиях.....	18
1.4. Направление исследований.....	31
Выводы по первой главе.....	34
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	35
2.1. Объекты обследования и их характеристики	35
2.2. Анализ механических свойств древесины.....	37
2.3. Экспериментальные исследования процессов распространения пыли в деревообрабатывающих цехах. .	39
2.3.1. Оценка запыленности воздуха на рабочих местах.....	39
2.3.2. Оценка выбросов в атмосферу на основании данных выбросов в рабочую зону	43
2.3.3. Исследования распространения пыли по высоте	

	помещения.	48
2.4.	Влияние древесной пыли на природную среду при строительстве и эксплуатации объектов агропромышленного комплекса.	51
	Выводы по второй главе.	55
ГЛАВА 3	ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА И ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПЫЛИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.	57
3.1	Результаты оценки фракционного состава, формы частиц и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе. .	57
3.2	Исследование основных свойств древесной пыли, поступающей в атмосферный воздух от источников деревообрабатывающего цеха.	61
3.3	Исследование аэродинамических характеристик древесной пыли.	69
3.4	Использование метода рассеечения при анализе дисперсного состава пыли.	74
3.5.	Анализ дисперсного состава пыли при основных процессах обработки строительных материалов из древесины.	78
3.6	Исследование дисперсного состава пыли при процессах шлифования.	89
3.7	Оценка фракционного состава пыли при инвентаризации стационарных источников выбросов в производстве строительных изделий из древесины.	92
	Выводы по третьей главе.	96
ГЛАВА 4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В	

АППАРАТЕ ВЗП С ОБРАТНЫМ КОНУСОМ И КОНИЧЕСКИМ ЗАКРУЧИВАТЕЛЕМ ПОТОКА НИЖНЕГО ВВОДА.	98
4.1 Описание схемы лабораторной установки.	98
4.2 Разработка ряда типоразмеров аппаратов ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода.	101
4.3 Результаты предварительных экспериментальных исследований.	102
4.4 Анализ результатов основного эксперимента.	103
4.5 Методика и программа исследований.	104
4.6. Основные результаты экспериментальных исследований. .	111
4.7 Опытно-промышленная установка пылеулавливания в системах пылеочистки с циклоном. и коническим ВЗП ...	114
4.8 Методика изменений планирования эксперимента и результаты испытаний промышленной установки.	116
4.9 Реализация результатов исследований.	121
Выводы по четвертой главе.	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	127
Условные обозначения.	140
Приложение А.	143
Приложение Б.	144
Приложение В.	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Технологические процессы при производстве строительных конструкций и изделий из древесины сопровождаются значительными выделениями пыли в производственные помещения, а также в окружающую природную среду. По степени негативного воздействия на организм человека древесная пыль отнесена к малоопасным веществам (IV класс), но характеризуется абразивными свойствами, относится к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия и в производственных условиях может вызывать аллергические реакции. При обработке древесины выделяется не только древесная, но и токсичная пыль веществ, которыми древесина пропитывается, поэтому данная пыль способна наносить вред не только здоровью людей, но и окружающей среде.

В проведенных ранее исследованиях были недостаточно изучены процессы распространения и оседания пыли, образующейся в производстве деревянных строительных конструкций. Поэтому исследования, направленные на изучение перечисленных факторов, определяющих формирование пылевой обстановки на предприятии, являются актуальными.

С другой стороны, высокая запыленность атмосферного воздуха на деревообрабатывающих предприятиях во многом обусловлена неустойчивостью работы систем аспирации. Нарушения работоспособности аспирационных установок возникают вследствие образования пылевых отложений на внутренних поверхностях горизонтальных воздуховодов, а также из-за отказов аппаратов пылеочистки в результате забивания или абразивного износа. В этой связи актуальными являются исследования, направленные на обеспечения надежности систем аспирации.

Степень разработанности темы. Вопросами защиты окружающей среды от негативного воздействия пылевых выбросов при производстве строительных материалов и конструкций занимались и занимаются ряд исследователей: Азаров В.Н., Аксенов Л.А., Александров А. Н., Беспалов

В.И., Богуславский Е.И., Воронин Ю.В., Гуревич Н.А., Жестяников М.В., Забозлаев Б.С., Козориз Г.Ф., Лапкаев А.Г., Мензелинцева Н.В., Сергина Н.М. Трахтенберг И.М., Русак О.Н. и другие. Однако остается актуальной проблема снижения загрязнения воздуха окружающей среды и рабочих зон предприятий мелкодисперсной пылью PM_{10} и $PM_{2.5}$. Решение этой проблемы и является основной целью настоящей диссертации.

Цель работы. Изучив свойства пыли, образующейся на деревообрабатывающих предприятиях строительной сферы, законы ее диффундирования, улавливания, оседания, минимизировать отрицательное воздействие пылевыведений на природу и, в целом, на окружающую среду.

В рамках реализации данной цели были решены следующие **задачи**.

Проанализированы

- технологические процессы, лежащие в основе производства древесных строительных конструкций и, следовательно, являющиеся источником загрязнения атмосферного воздуха;
- методы и средства обеспыливания воздушной среды при производстве изделий и строительных конструкций из древесины;
- характеристики оборудования, используемого в системах обеспыливания, пневмотранспорта, аспирации при производстве деревянных строительных конструкций и изделий.

Проведены

- экспериментальные (и, частично, теоретические) исследования, связанные с процессами распространения и оседания древесной пыли в окружающей среде, в том числе PM_{10} и $PM_{2.5}$, методов обеспыливания воздуха в производстве строительных изделий и конструкций;
- исследования данных о свойствах пыли, образующейся при механической обработке древесины, дисперсном составе этой пыли.

Разработаны

- методы и решения (включая экспериментальную оценку эффективности этих решений), обеспечивающие надежность систем аспирации при производстве строительных материалов, изделий, конструкций;

- конструкции аппаратов пылеочистки для снижения выбросов в атмосферу, в том числе мелкодисперсной пыли, и обеспечения надежности работы систем аспирации.

Основная идея работы состоит в совершенствовании оценки и использовании закрученных потоков для обеспечения надежности систем пылеулавливания при производстве строительных конструкций, результатом чего является снижение выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух.

Методы исследования: детальное изучение и обобщение известных научных и технических результатов в обозначенной выше области исследования; экспериментальные исследования в лабораториях и на промышленных объектах; компьютерная обработка экспериментальных данных с использованием методов математической статистики, корреляционного анализа и др.

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.

Научная новизна работы:

- по результатам натурных исследований получены данные о дисперсном составе пыли и значениях PM_{10} и $PM_{2.5}$, поступающей в зону дыхания людей, занятых в производстве при выполнении основных технологических операций по обработке древесины разных пород и при разных способах организации обеспыливания, а также данные о степени загрязнения атмосферного воздуха;

- на основе результатов исследований, выполненных в натурных условиях, установлены расчетные зависимости, характеризующие изменение концентрации пыли, в том числе и мелкодисперсной, в воздухе помещений предприятий по производству строительных изделий из древесины;

- по результатам исследования и обобщения данных о дисперсном составе пыли, поступающей в окружающую среду, установлены зависимости, характеризующие интегральную функцию распределения, описывающую пофракционное распределение массы частиц для пыли, образующейся при механической обработке разных пород древесины;

- на основе результатов проведенных экспериментов получены зависимости для определения аэродинамических характеристик, в частности, скорости оседания частиц древесной пыли в воздушной среде с учетом их геометрической формы и размеров;

- исследовано влияние на запыленность воздуха аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода, конструкция которого разработана для обеспечения надежности систем пылеулавливания и снижения выбросов в атмосферу.

Теоретическое и практическое значение работы:

- на основании теоретических и экспериментальных исследований получены верхние и нижние огибающие для диапазона изменения интегральных функций распределения массы частиц по диаметрам для следующих технологических процессов: пиление, фрезерование, сверление, строгание, шлифование;

- во избежание поломок аппаратов пылеочистки из-за абразивного износа или забивания и в целях снижения выбросов пыли в воздух окружающей среды, для систем обеспыливания, аспирации разработана конструкция аппарата ВЗП, использующая обратный конус и конический закручиватель потока нижнего ввода;

- проведены экспериментальные исследования для оценки проскока пыли и аэродинамических характеристик аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода;

- получены и обобщены данные об основных свойствах: аэродинамических характеристиках, размерах, форме пыли, образующейся при производстве деревянных строительных конструкций и изделий, необходимые для решения вопросов обеспыливания выбросов в воздух окружающей среды;

- на основании теоретических и экспериментальных исследований получены исходные данные для оценки величины выбросов в атмосферу от организованных и неорганизованных источников;

- предложенная автором к использованию в столярных цехах установка ВЗП-400, прошедшая опытно-промышленные испытания (в течение 72 часов) в ООО «Тандем-ВП» (г. Новочеркасск) и в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой» (г. Волгоград), работает устойчиво, обеспечивая выполнение требуемых норм на границе санитарно-защитной зоны;

- полученные результаты и выработанные рекомендации по снижению поступления выбросов пыли в атмосферу в цехе по производству сорбентов ООО «Диара» (г. Миллерово) позволили снизить эти выбросы на 14%, а также добиться концентрации древесной пыли на границе санитарно-защитной зоны менее 0,5 мг/м³.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на: 6-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная», г. Брянск, 2017 г.; 1-й Европейской конференции, посвященной достижениям и разработкам молодых ученых в естественных и технических науках, г. Вена, 2017 г.; секции «Вероятностно-аналитические модели и методы» 7-й Международной конференции «Современные методы и проблемы теории операторов и гармонического анализа и их приложения», г. Ростов-на-Дону,

2017 г.; научном семинаре по экологической безопасности при кафедре «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве» ИАиС ВолгГТУ (рук. проф. В. Н. Азаров); научном семинаре по методам математического моделирования при кафедре «Информационные системы в строительстве» РГСУ (рук. проф. А. А. Ляпин); научном семинаре по стохастическим методам при кафедре «Высшая математика» ДГТУ (рук. проф. И. В. Павлов).

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации изложены в 11 работах, в том числе в 4 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, в 1 статье, индексируемой в «Scopus» и в 1 статье, индексируемой в AGRIS.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 145 страниц, в том числе: 139 страниц – основной текст, содержащий 20 таблиц, 82 рисунка, библиографический список из 108 наименований; 3 приложения на 3 страницах; условные обозначения на 3 страницах.

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ИМЕЮЩИХСЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Технологические процессы на деревообрабатывающих предприятиях как источники пылевого загрязнения окружающей среды, их описание и анализ

Главными технологическими операциями, лежащими в основе производства строительных конструкций и изделий из дерева (доски и паркет для пола, дверные и оконные блоки и т.д.), являются:

- распилка или раскрой бревна;
- строгание – снятие особого вида ножами срезов древесины;
- лущение – резание по спирали;
- фрезерование – резание ножами специальной конструкции и получение требуемого профиля древесных материалов;
- сборка полуфабрикатов, полученных после механической обработки (склеивание);
- обработка отходов, которая предусматривает их сортировку, перемешивание со связующим и формование (часто прессование под давлением);
- сушка – повышает прочность древесины и увеличивает сроки ее эксплуатации.

В качестве материала используются хвойные, лиственные, а также тропические сорта древесины. Древесные породы при влажности 12% делятся на следующие 3 группы [63, 95, 96]:

- мягкие – торцовая твердость 38,6 МПа и менее (тополь, липа, ель, сосна, кедр, пихта, осина, ольха);
- твердые – торцовая твердость 38,6-82,5 МПа (клен, ясень, береза, яблоня, лиственница сибирская, бук);

- очень твердые – торцовая твердость более 82,5 МПа (акация белая, кизил, самшит, береза железная, граб).

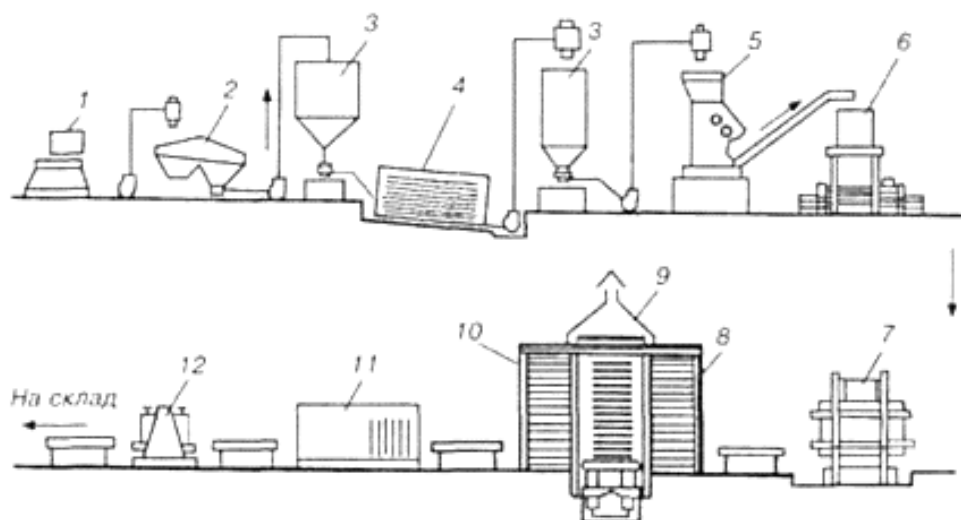


Рисунок 1.1 – Схема производства ДСП.

- 1 – рубильная машина; 2 – вибрационное сито; 3 – бункер; 4 – сушило;
 5 – смеситель; 6 – настилочная машина; 7 – «холодный» пресс;
 8 – загрузочная камера; 9 – пресс горячего прессования; 10 – разгрузочная камера;
 11 – камера для выдвижных плит; 12 – станок для обрезания плит

На рисунке 1.1 показана технологическая схема производства древесно-стружечных плит. Полученный на конечном этапе материал представляет собой панель, изготовленную из кусков древесины (щепа, стружка, обрезки) склеенных между собой органическим веществом. Данная технология на всех этапах сопровождается обильным выделением древесной пыли.

При изготовлении древесноволокнистых плит (ДВП) используют целлюлозные волокна, полученные путем дальнейшего измельчения щепы. Существует два способа производства ДВП: мокрый и сухой. При мокром способе плиты получают путем отлива целлюлозной массы без введения связующего вещества. При сухом способе в целлюлозную массу вводят 4-8% связующей смолы. Помимо смолы в состав массы вводят антисептики, антипирены и другие добавки, позволяющие придать материалу необходимые свойства – прочность, водостойкость, пожаростойкость.

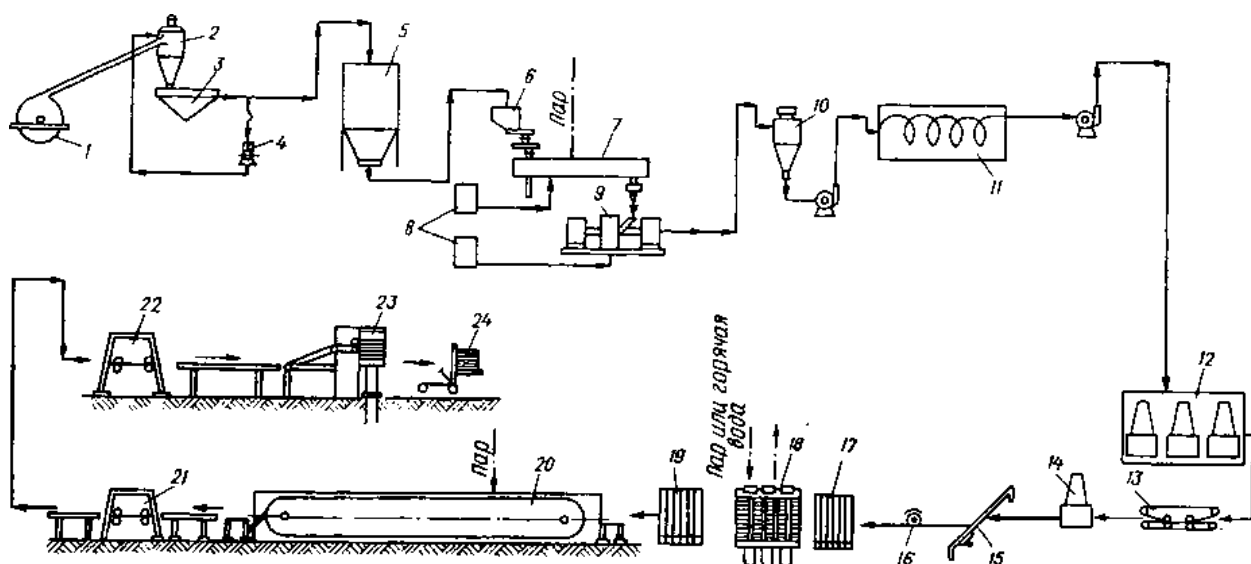


Рисунок 1.2 – Технологическая схема производства ДВП.

- 1 - рубильная машина; 2 - циклон; 3 - щепосортировочная установка;
 4 - дезинтегратор; 5 - бункер хранения щепы; 6 - расходный бункер щепы;
 7 - пропарочный аппарат; 8 - расходные баки парафина и смолы;
 9 - размольная установка; 10 - циклон сушки первой ступени;
 11 - сушилка второй ступени; 12 - формирующая машина; 13 - ленточный пресс предварительной подпрессовки; 14 - формующая головка отделочного слоя; 15 - пила поперечной резки; 16 - пила продольной резки;
 17 - загрузочная этажерка; 18 - пресс; 19 - загрузочная этажерка;
 20 - камера кондиционирования; 21 - продольная резка; 22 - поперечная резка; 23 - накопитель плит; 24 – автопогрузчик

Часть фанеры реализуется без всякой обработки. Ее просто сортируют, маркируют, укладывают в пачки и отправляют на склад. Большие объемы фанеры марки ФСФ подвергают ламинированию пленкой, которая представляет собой пропитанную фенолформальдегидными смолами бумагу (рисунок 1.3).

Обильное пылевыведение в процессе переработки древесных материалов наблюдается при шлифовании. В данном процессе образуется мелкодисперсная пыль (менее 20 мкм).

Все вышеуказанные технологические процессы характеризуются многочисленными параметрами, которые могут изменяться в определенных пределах в рамках регламента или же иметь резкие отклонения в аварийных ситуациях [16, 88].



Рисунок 1.3 – Технологическая схема при производстве фанеры

Весьма важным для устойчивости технологического процесса является постоянство состава поступающего сырья и полупродуктов, содержание в них посторонних примесей, а также температурная устойчивость.

Помимо древесной пыли при производстве строительных конструкций и изделий образуется ряд других загрязняющих веществ, приведенных в таблице 1.1. Такие токсические вещества, как фенол и свободный формальдегид, содержатся в древесной пыли, которая образуется при механической обработке древесностружечных и древесноволокнистых плит. [62].

В соответствии с [35] древесной пыли соответствует $\text{ПДК}_{\text{рз}} = 6 \text{ мг/м}^3$, древесная пыль отнесена к IV классу опасности, аэрозолям преимущественно фиброгенного действия, которые, кроме того, могут вызвать аллергию в производственных условиях.

Таблица 1.1 - Перечень оборудования и загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при производстве строительных изделий из древесины

Наименование		Загрязняющее вещество		
Производства (технологического процесса)	Оборудования (установки)	Код	Наименование	Норматив качества атмосферного воздуха, мг/м^3
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
производство ДСП	оборудование механической обработки ДСП	2902	взвешенные вещества (пыль ДСП)	0,5
	оборудование пропитки стружки горячей смолой, горячего прессования и выдержки плит	0303	аммиак	0,2
		1325	формальдегид	0,05
		1071	гидроксibenзол (фенол)	0,01
производство цементно-стружечных плит	оборудование для работы с цементом	2908	пыль неорганическая 70-20% SiO_2	0,3
производство фанеры	оборудование участка слоистых пластиков	2902	взвешенные вещества (пыль слоистого пластика)	0,5
		1071	гидроксibenзол (фенол)	0,01
		1325	формальдегид	0,05

В таблице 1.2 показан дисперсный состав пыли на разных участках деревопереработки [62, 14, 57].

Таблица 1.2 - Дисперсный состав пыли, образующейся при основных процессах механической обработки древесины [57]

Технологический процесс	Размеры частиц, мкм				
	200-100	100-75	75-53	53-40	40
	Содержание, %				
Пиление	16	68	10	3	3
Фрезерование	40	53	4,5	2	0,5
Сверление	46	45,5	4,5	2,5	1,5
Строгание	52	43	3	1,2	0,8
Шлифование	15	11	12	9	36

1.2 Методы и средства обеспыливания воздуха окружающей среды при производстве строительных материалов и изделий из древесины

Вентиляция является одним из средств коллективной защиты работников от вредных факторов, связанных с производством. Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция применяется для поддержания концентрации вредных паров на уровне не выше $ПДК_{рз}$, локализующая (местная вытяжная, системы аспирации) – для обеспыливания воздуха в рабочей зоне.

В целях улавливания древесной пыли, а также стружки и опилок, возникающих при механической обработке материалов, применяются местные отсосы (приемники), встроенные в конструкцию деревообрабатывающих станков. Обычно эти отсосы в то же время являются ограждением режущих частей станков [30, 44, 75, воздуха 15, 80]. Улавливание твердых примесей реализуется с помощью воздушного потока, а также использованием скорости твердых частиц, которая передается им режущим инструментом [30]. Объем воздуха, удаляемого через приемники, должен быть такой, чтобы обеспечивалось улавливание и передача пыли в отсасывающий воздуховод, а также транспортирование частиц по воздуховоду во взвешенном состоянии [30]. Главное, что должно определять объем отсасываемого воздуха, – это действенное обеспыливание процессов деревообработки. Поэтому в случае местных отсосов удаляемые от различных станков объемы воздуха определяются результатами опытного обследования, а не из условия получения оптимальной концентрации частиц в потоке воздуха [30].

У режущих головок некоторых станков возможность устройства приемников отсутствует. В местах размещения таких станков, а также в местах, где скапливаются стружки и опилки, предусматривается установка напольных отсосов периодического или непрерывного действия [30].

На заточном участке для улавливания пыли применяются местные отсосы. Объем удаляемого ими воздуха – $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ на каждый миллиметр диаметра заточного круга [30].

Пылеприемники станков объединены сетью воздухопроводов и таким образом возникают системы аспирации, которые подразделяются на коллекторные и разветвленные.

К разветвленным (см. рисунок 1.4) [30, 44, 75, 15, 80] относят системы с изменяющимся диаметром магистрального воздуховода. Этот диаметр растет по мере того, как к воздуховоду подсоединяются ответвления от различных станков.

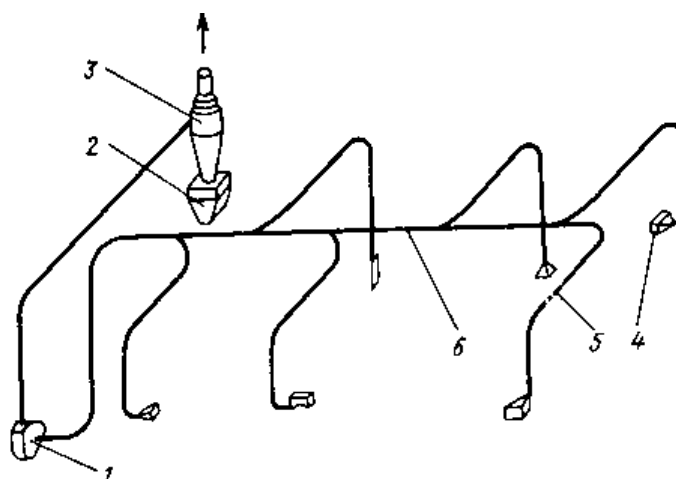


Рисунок 1.4 - Компонировка разветвленной системы.

1 – вентилятор; 2 – бункер; 3 – циклон; 4 – местный отсос;
5 – ответвление от станка; 6 – сборный магистральный воздуховод

Так как статическое давление существенно изменяется по длине магистрального воздуховода, не допускается изменения количества станков или места их размещения в цеху. В противном случае не исключено снижение объема и, тем самым, скорости воздуха, отсасываемого от станка, до уровня ниже транспортирующей, что, в свою очередь, приведет к возрастанию запыленности атмосферного воздуха.

В коллекторных системах (рис. 1.5) на смену магистральным воздуховодам приходят коллекторы, каждый из которых представляет собой камеру, где статическое давление почти не колеблется [30, 44, 75, 15, 73, 80].

Тем самым создаются равные аэродинамические условия для всех станков и их ответвлений. Такого рода системы работают устойчиво, независимо от числа станков и их расположения.

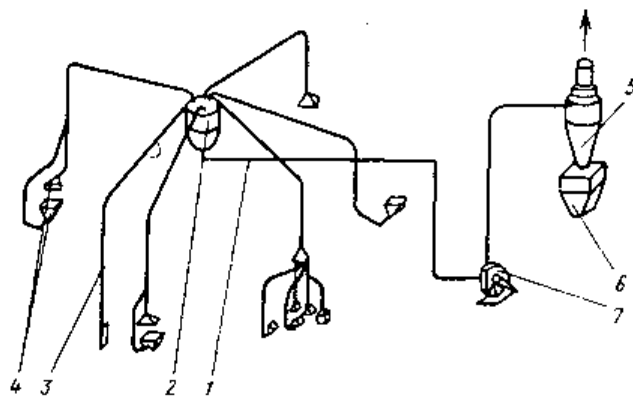


Рисунок 1.5 - Пример коллекторной системы.

1 –воздуховод; 2 –коллектор барабанный; 3 – ответвление от станка;
4 – местный отсос; 5 – циклон; 6 – бункер; 7 - вентилятор

1.3 Характеристики пылеулавливающего оборудования в системах аспирации на деревообрабатывающих предприятиях

Одним из основных систем аспирации являются пылеулавливающие аппараты, в которых воздух перед выбросом в атмосферу очищается от пыли и безотказность которых влияет на надежность самих аспирационных систем.

Перечень оборудования пылеочистки, используемого в деревообрабатывающей промышленности, дан в табл.1.4 [30, 32, 39,46,76, 15, 88, 97].

Таблица 1.3 - Характеристики пылеочистного оборудования, используемого в деревообрабатывающей промышленности

Наименование пылеулавливающего оборудования	Тип или марка	Эффективность улавливания, %	Способ очистки	Организация-разработчик	Примечания
1	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6
циклон	ЛТА	85-90	сухой	«Гипродрев», г. Ленинград	
циклон с обратным конусом		70	сухой	ГПИ «Госхимпроект», г. Москва	
циклон НИИОГаз	ЦН-11	95	сухой	институт «Промектпромвентиляция», ин-т «Гипрогазоочистка», г. Москва	рекомендованы для очистки воздуха от грубых фракций пыли
	ЦН-15	95	сухой		
циклон	СИОТ	70	сухой	институт охраны труда, г. Свердловск	применение ограничено из-за сложности изготовления
циклон	УЦ	95-99	сухой	ЛТА им. С.М. Кирова	предназначен для улавливания неслипающейся пыли, а также смеси пыли со стружками и опилками
циклон	РИСИ	99	сухой	Ростовский инженерно-строительный институт	очистка технологических выбросов от всех видов слипающейся пыли
циклон	К (или СЭКД ЭМ)	< 75 мкм – 45; 75-100 мкм – 58; 100-150 мкм – 65; 150-200 мкм - 80	сухой	«Гипродревпром», г. Москва	рекомендуется применять как разгрузитель в системах аспирации, удаляющих отходы, не содержащие пыли

Продолжение таблицы 1.3

циклон Гипродрев-прома	Ц	< 75 мкм – 45; 75-100 мкм – 65; 100-150 мкм – 65; 150-200 мкм – 75	сухой	«Гипродрев-пром», г. Москва	
пылеуловитель ударно-смывного действия	УДС-ЛИОТ	85-100	мокрый	ЛИОТ, г. Ленинград	
фильтр воздуха мокрый	ФВМ	99	мокрый	«Гипродрев-пром», г. Москва	
циклон с водяной пленкой	ЛИОТ-ЦВП	90-98	мокрый	«Гипродрев», г. Ленинград	
циклон	ЛИОТ	97	сухой	ЛИОТ, г. Ленинград	для улавливания металлической и шлифовальной пыли
фильтр рукавный	ФРКИ	99,9	сухой	НИИОГаз	для улавливания мелкодисперсной неагрессивной взрывоопасной пыли с медианным размером частиц 3-5 мкм
пылеуловитель вентиляционный мокрый	ПВМ	99	мокрый	ЦНИИПромзданий, г. Москва	для всех видов пыли, за исключением пыли, способной образовывать прочные отложения

Для улавливания древесной пыли на деревообрабатывающих предприятиях применяются, главным образом, циклоны.

В состав циклон типа Ц (рис. 1.6) входят цилиндрическая и коническая части корпуса, входной патрубок с тангенциальным завихрителем, зонтик и

выхлопная труба с сепаратором. Сепаратор, принцип работы которого аналогичен принципу работы пылеуловителя с жалюзями и винтовым входом, используется для дополнительной очистки. Однако из опыта эксплуатации циклона Ц вытекает, что сепаратор не соответствует своей функции, т.к. часто забивается стружкой и мелкодисперсной пылью, вследствие чего способность улавливания пыли понижается. Поэтому циклоны Ц изготавливаются, как правило, без сепараторов. При этом эффективность их работы практически не уменьшается, зато упрощается конструкция и растет надёжность [30, 32, 39, 46, 76, 15, 88, 97].

Сухие циклоны СИОТ-М и СИОТ-М1 (рис. 1.7) используются для средней и грубой очистки газов от неслипающейся и неабразивной сухой пыли [98].

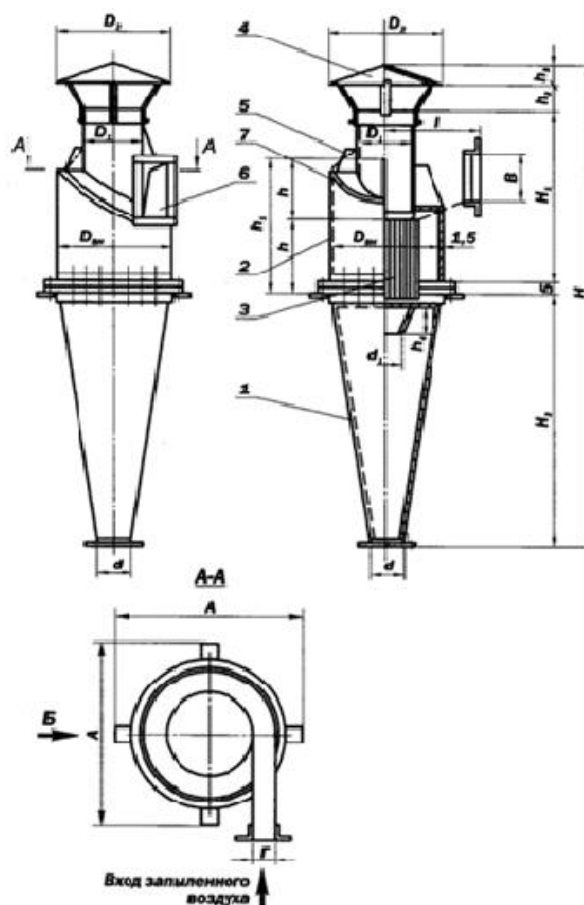


Рисунок 1.6 - Циклон Ц.

1 – конус; 2 – корпус; 3 – сепаратор; 4 – зонт; 5 – косынка; 6 – входной патрубок; 7 – крышка корпуса

Основными частями модернизированного циклона СИОТ-М (рис. 1.7,а) увеличенной эффективности являются корпус, снабженный входным патрубком и выхлопной трубой, бункер и раскручиватель потока. На нижней части корпуса имеется глухая цилиндрическая вставка. В целях удобства монтажа вставки ось пылевывпускного отверстия корпуса циклона снабжена устройством: конической манжетой с фланцем, располагающейся на крышке бункера. В нижней вставке присутствует диск со штырями, который приварен к манжете. Размер кольцевого зазора, через который пыль из корпуса переходит в бункер, определяется длиной штырей. Сварной бункер состоит из двух частей: верхней (цилиндрической) и нижней (конической) [98].

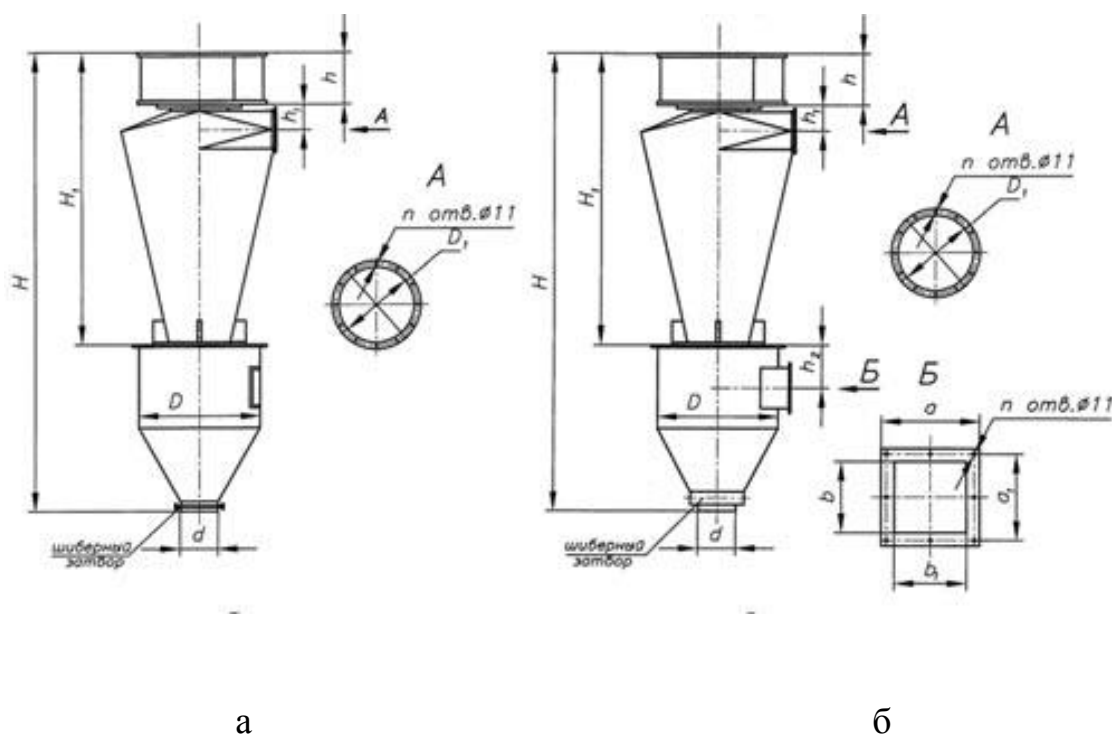


Рисунок 1.7 - Сухие циклоны: а - СИОТ-М; б - СИОТ-М1.
 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба; 4 – бункер;
 5 – затвор; 6 – раскручиватель потока; 7 – цилиндрическая вставка;
 8 – коническая манжета; 9 – фланец; 10 – диск; 11 – штырь; 12 – полая вставка; 13 – коническая манжета; 14 – фланец; 15 – закручиватель дополнительного потока; 16 – люк

В циклоне СИОТ-М1 (рис. 1.7, б), обладающем повышенной эффективностью и производительностью, в отличие от циклона СИОТ-М,

вместо глухой цилиндрической вставки применяется устройство для подсоса дополнительного потока запыленного воздуха, которое состоит из поллой вставки, конической манжеты с фланцем, закручивателя дополнительного запыленного потока [98]. Рекомендуется применять эти циклоны при начальной запыленности до 300 г/м^3 .

Циклоны СИОТ-М могут устанавливаться как на линии всасывания (до вентилятора), так и на линии нагнетания (после вентилятора). Циклоны СИОТ-М1 должны устанавливаться только на линии всасывания, т. к. при этом подсос дополнительного потока осуществляется за счет разрежения, создаваемого в корпусе циклона основным потоком [98].

Циклоны СИОТ-М в пылевывпускном отверстии снабжены глухой цилиндрической вставкой, которая способствует снижению интенсивности вихря в нижней части циклона. В свою очередь, это приводит к ликвидации ряда радиальных течений и, следовательно, к снижению вторичного уноса пыли. Из-за уменьшения расчетного объема пылевого бункера полученная введением вставки нормальная структура потока в процессе эксплуатации не нарушается. Вставка разделяет бункер и полость корпуса циклона так, что осевой восходящий вихрь приходит в движение не с поверхности отложившейся пыли в бункере, а с верхнего торца вставки. Роль вставки такова: она отделяет нисходящий пылевой поток от восходящего вихря чистого газа в зоне пылевывпускного отверстия. В результате вторичный унос уловленной пыли из бункера снижается в 3,5–5 раз [98].

В циклонах СИОТ-М1 применен принцип вихревых пылеуловителей, в которых подвод запыленного газа и очистка его от пыли происходят в восходящем закрученном потоке (центральная часть), а движение нисходящего потока, который обогащен пылью, осуществляется по периферии. Точно так же снизу по оси в циклон подается дополнительный поток запыленного воздуха. В центральной части циклона этот дополнительный поток закручивается в специальном закручивателе туда же, куда и основной. Отделение части пыли происходит и в верхней части

циклона (из основного потока), и в нижней части корпуса (из дополнительного потока). Осажденные на стенки из обоих потоков частицы перемещаются вниз через кольцевое пылевывпускное отверстие в бункер [98].

Для улавливания пыли на деревообрабатывающих предприятиях может применяться и циклон с конусом-коагулятором ЦКК (рис. 1.8) [101]. Характерной особенностью этого аппарата является наличие элемента в виде конуса-коагулятора, в котором из-за увеличения скорости происходит турбулизация потока. В результате волокнистые пылевые частицы коагулируют, образуются устойчивые агрегаты и эффективность очистки повышается [101].

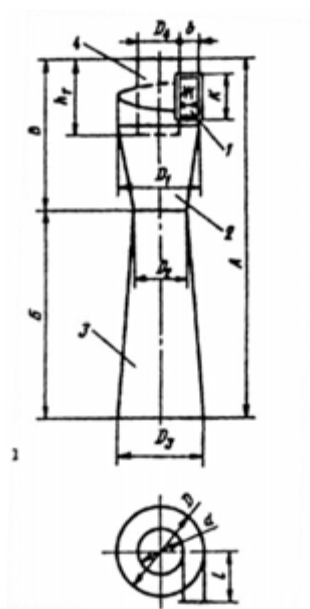


Рисунок 1.8 - Циклон с конусом-коагулятором ЦКК.
1 – входной патрубок; 2 – конус-коагулятор; 3 – обратный конус;
4 – выходной патрубок

На базе циклона ЦН-15 спроектирован ЦВР – циклон с внутренней рециркуляцией (рис. 1.9). Он предназначен для улавливания сухой пыли, которая является также неслипающейся и мелкодисперсной [101]. От ЦН-15 этот аппарат отличается следующим: выходная труба имеет щелевое отверстие и винтообразную направляющую ленту. Особо насыщенная часть потока, выходящего через выхлопную трубу, направляется через щелевое отверстие в корпус циклона на повторную очистку.

В целях интенсификации процесса продвижения пылевых частиц в сторону щелевого отверстия к внутренней поверхности трубы прикреплена винтообразная направляющая лента. Использование внутренней рециркуляции повышает эффективность аппарата [101].

На рис. 1.10 изображен сферический циклон с корпусом в виде шара. Запыленный воздух поступает в аппарат к верхней части циклона по касательной через патрубки (их должно быть не меньше двух) и выводится вверху аппарата выхлопной трубой. В стенке корпуса по периметру наибольшего сечения сферы проделаны вертикальные щелевые отверстия [101].

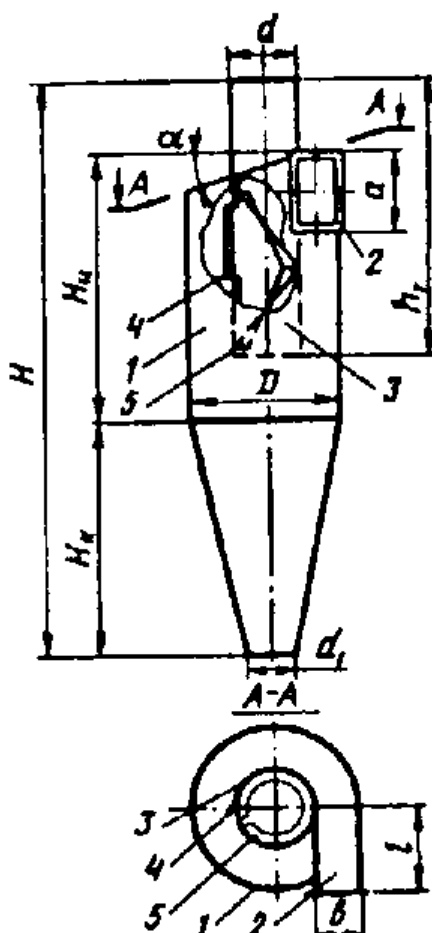


Рисунок 1.9 - Циклон ЦВР.

1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – направляющая лента; 4 – щель для подсоса воздуха с остаточной запыленностью; 5 – выхлопная труба

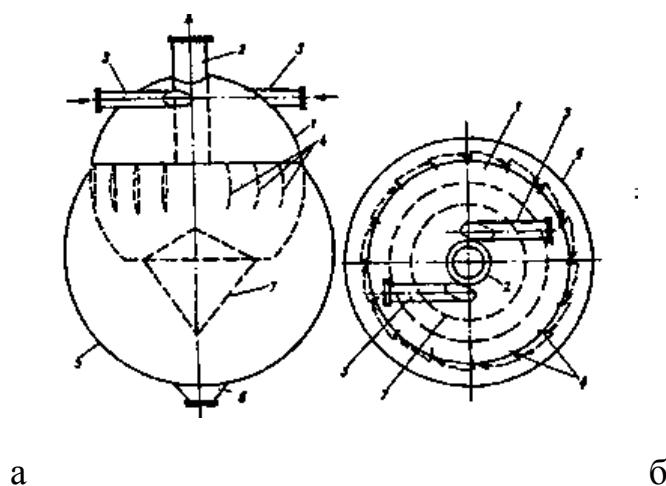


Рисунок 1.10 - Сферический циклон: а – вид сбоку; б – вид сверху.
 1 – корпус; 2 – выхлопная труба; 3 – входные тангенциальные патрубки;
 4 – прорезь; 5 – бункер пылесборника; 6 –пылеотводящий патрубок;
 7 – отражатель

Пылесборник также сконструирован в виде сферы (радиуса корпуса меньше в 1,4 раза радиуса пылесборника) и прикрепляется верхним краем к корпусу на уровне верха щелевых отверстий. Тут же расположена нижняя часть выхлопной трубы [101]. В полости пылесборника находится отражатель в виде прямого и обратного конусов, наверху – отверстие с патрубком, через который выпускается пыль [101].

Запыленный воздух движется в аппарате вниз по спирали рядом со стенками корпуса. Частицы, имеющие размеры более 100 мкм, передвигаются у стенок корпуса вследствие действия центробежных сил и, достигнув прорезей, выводятся через щелевые отверстия с частью воздуха в пылесборник. Мелкие частицы, имеющие размеры менее 10 мкм, выносятся воздушным потоком в корпус аппарата, движутся у его стенок на небольшом расстоянии и удаляются из корпуса вместе с крупными частицами через выпускной патрубок [101]. Создатели аппарата считают, что повышение эффективности (98-99% для частиц 10-50 мкм) определяется более равномерными подачей, распределением и закручиванием пылегазового потока [101].

В случаях, когда циклоны не обеспечивают необходимую степень очистки, используется двухступенчатая система: за циклоном устанавливается другой пылеулавливающий аппарат (рисунок 1.11) [30].

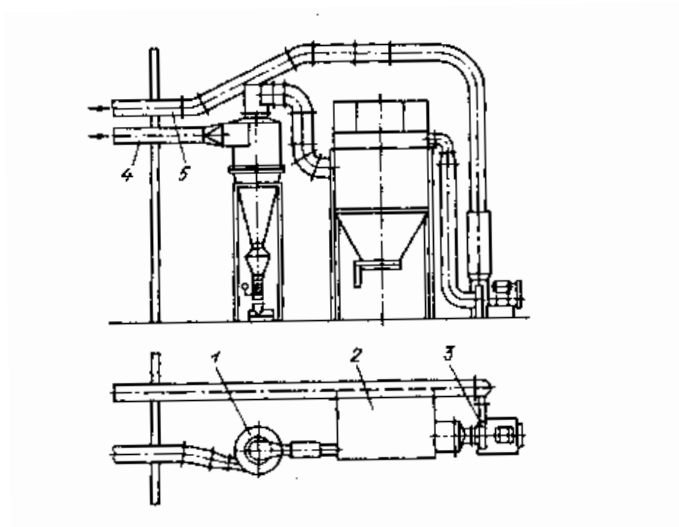


Рисунок 1.11 - Компонировка оборудования.

1 – циклон; 2 – рукавный фильтр; 3 – вентилятор; 4 – воздуховод от деревообрабатывающих станков; 5 – рециркуляционный воздуховод

В настоящее время нашли широкое распространение пылеулавливающие агрегаты для очистки воздуха от пыли, стружки и опилок, образующихся при обработке древесины на деревообрабатывающих станках, с возвратом очищенного воздуха в помещение.

На рисунке 1.12 показан рециркуляционный пылеулавливающий агрегат ПУА, предназначенный для очистки воздуха от крупнодисперсных сухих, неслипающихся, неабразивных пылей, образующихся при работе обрабатывающих станков (дерево, пластмасса, кожа) [63]. ПУА устанавливают в цехах вблизи от оборудования и станков, требующих аспирации. Различные модификации агрегата позволяют подсоединить 1-4 местных отсоса (рис. 1.13). При медианном диаметре частиц, большем 30 мкм, эффективность очистки составляет 99,5% [74].

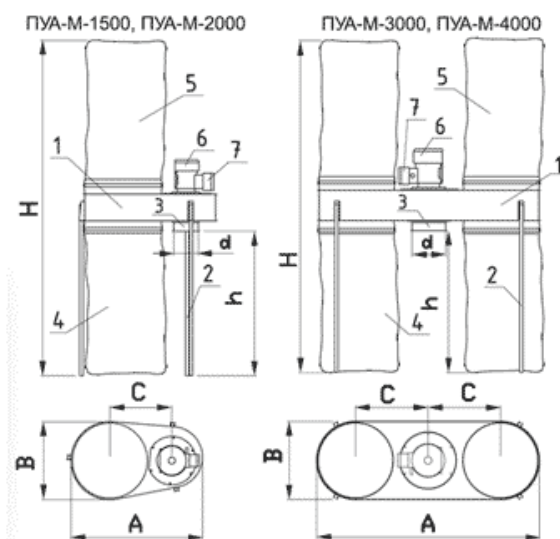


Рисунок 1.12 - Устройство агрегата ПУА.

1 – корпус аппарата; 2 – стойка; 3 – входной патрубок; 4 – пылесборный мешок; 5 – фильтровальный мешок; 6 – вентилятор; 7 – электродвигатель

В состав агрегата входят: вентилятор, совмещенный с ним циклонный элемент, рама, рукав для улавливания пыли, пылесборный мешок, всасывающий гибкий шланг, электродвигатель, хомуты для крепления рукава и мешка, тумблер включения. При этом возможно изменение расположения входного патрубка с нижнего на верхнее [74].

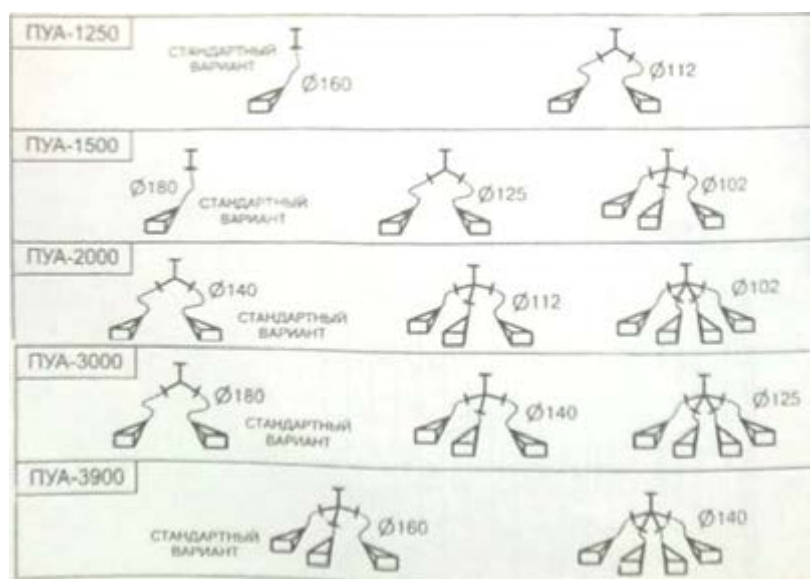


Рисунок 1.13 - Способы присоединения местных отсосов к агрегату ПУА

Вентилятор засасывает (через гибкий шланг) воздух, содержащий взвешенные частицы, от места пылеобразования. Этот воздух очищается в циклонном элементе от крупных частиц, попадающих в пылесборный мешок, и поступает на доочистку в рукав для улавливания мелкой пыли. Отфильтрованный чистый воздух вновь поступает в цех [74].

На рисунке 1.14 изображен пылеулавливающий агрегат ПУАД, обладающий эффективностью до 93%, который применяется для очистки воздуха (с дальнейшим возвратом в цех) при обработке древесных изделий [74, 83].



Рисунок 1.14 – Вид рециркуляционного пылеулавливающего агрегата ПУАД

Также при деревообработке для удаления пыли, стружки и опилок используются УВП (рис. 1.15) – установки вентиляционные пылеулавливающие [74]. Установки УВП-1200 и УВП-1500 применяются для работы с деревообрабатывающим оборудованием, УВА-1200А – при заточно-шлифовальных работах. Установка УВП-1500У используется для обслуживания 2-х или 3-х деревообрабатывающих станков. Установки УВП-2500, УВП-5000 и УВП-7000 также могут обслуживать 2-3 деревообрабатывающих станка (при ограничении объемов отсасываемого воздуха, соотв., 3000 м³/ч, 5000 м³/ч и 7000 м³/ч) [74].

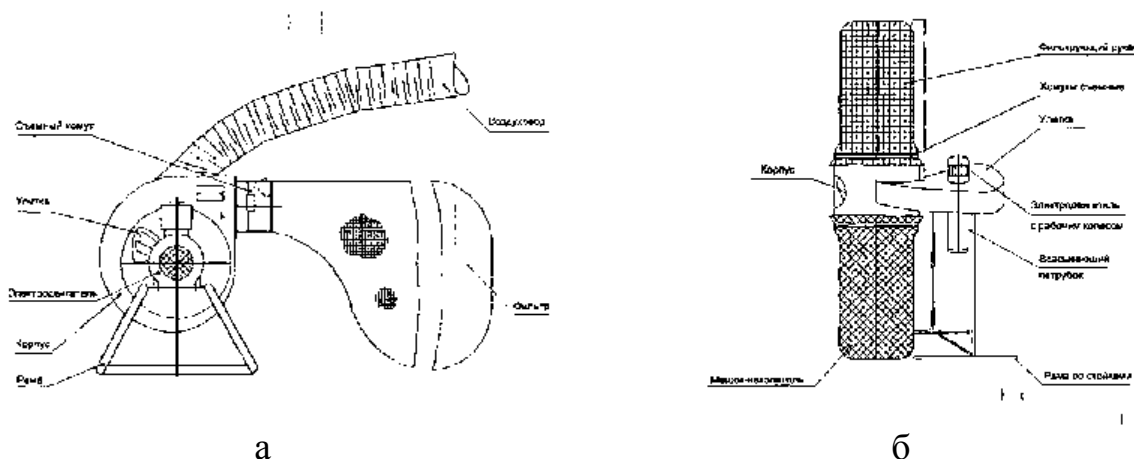


Рисунок 1.15 - Установка УВП: а – общий вид; б – конструктивная схема

Через всасывающий патрубок воздушный поток проходит и воздуховод и в центр улитки. Центробежные силы переносят взвешенную в потоке пыль на стенки корпуса установки. Под влиянием собственного веса крупные частицы пыли выпадают из потока и сразу осыпаются в накопительный мешок. Мелкие частицы пыли остаются в фильтре [74].

Установки АПР [74], аналогичные аппарату ПУА (рис. 1.16), применяются для улавливания абразивной пыли.

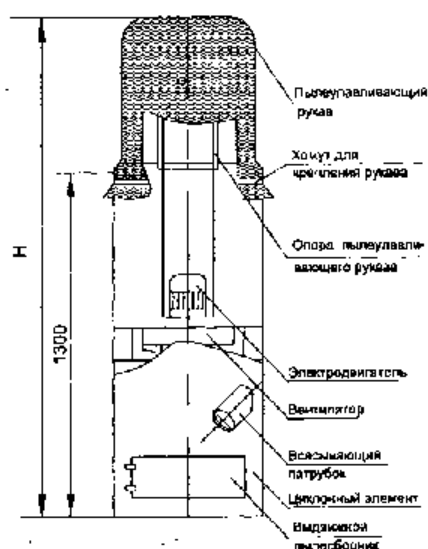


Рисунок 1.16 - Пылеулавливающий агрегат АПР

Сухая пыль и мелкая стружка, образующаяся от заточных, шлифовальных и других станков, очищается с помощью агрегатов АОУМ (рис. 1.17) [67].

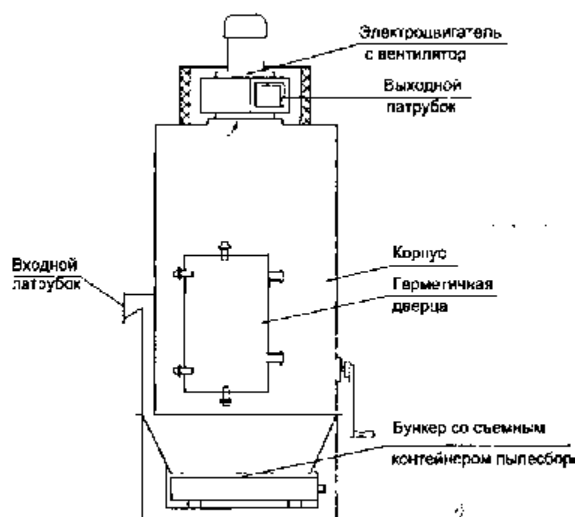


Рисунок 1.17 - Агрегат для отсоса и улавливания пыли АОУМ

Конструкция агрегата содержит накопительный бункер, пульт управления, пластиковый вентилятор и три ступени очистки, состоящие из инерционного осадителя крупных частиц, тканевого фильтра с системой встряхивания и фильтра-шумоглушителя) [74].

1.4 Направление исследований

Как отмечено в [36], повышенная запыленность и загазованность воздуха окружающей природной среды причислены к вредным факторам, которые могут действовать на людей, связанных с технологическими процессами обработки древесины. Несмотря на то, что древесная пыль отнесена к IV классу опасности и тем самым считается малоопасной [35], эта пыль является аэрозолем, способной вызывать аллергические реакции и приводить к различного рода заболеваниям органов дыхания, кожи и глаз.

По мнению некоторых специалистов, нужно пересмотреть вопрос об отнесении древесной пыли к классу малоопасных веществ и вопрос о ее нормативном содержании в атмосферном воздухе (это нормативное содержание было установлено в 30-е годы 20-го столетия [55, 57, 52]).

В целях обеспечения нормируемых параметров воздушной среды используется вентиляция. Для разбавления газов используется общеобменная вентиляция. Для обеспыливания воздуха рабочей зоны используются системы аспирации (централизованные или децентрализованные).

Снижением запыленности воздушной среды деревообрабатывающих предприятиях занимались многие известные специалисты: Аксенов Л. А., Воронин Ю. В., Гуревич Н. А., Жестяников М. В., Забозлаев Б. С., Козориз Г. Ф., Лапкаев А. Г., Русак О. Н., Трахтенберг И. М. и другие [32, 34, 42, 50, 51, 52, 55, 54, 56, 53, 75, 79, 85, 86, 103]. Их исследования были посвящены, в том числе, решению проблем, связанных с уменьшением выбросов пыли в атмосферный воздух. Неоднократно отмечалось, что высокая запыленность воздуха на территории деревообрабатывающих предприятий обусловлена, в основном, неустойчивой и неэффективной работой аспирационных установок. В процессе их работы на внутренних поверхностях горизонтальных воздухопроводов образуются пылевые отложения. Как результат, снижается объем воздуха, удаляемого местными отсосами от оборудования, а из-за этого происходит выбивание пыли в воздух рабочей зоны. Кроме того, снижается объем перемещаемой по системе пылевоздушной смеси и, следовательно, транспортирующая способность воздуха. А это, в свою очередь, интенсифицирует процессы отложения пыли и довольно часто вызывает отказ системы аспирации.

С учетом вышесказанного *в качестве одного из направлений исследований данной работы было выбрано изучение возможности применения закрутки потока в горизонтальных воздуховодах*. Это делалось на основе анализа свойств пыли, образующейся при механической обработке древесины разных пород.

Для снижения выбросов древесной пыли в атмосферу в *централизованных системах аспирации* используются, преимущественно, циклоны, и среди них, в особенности, установки, в которых применяются вихревые эффекты (циклон СИОТ-М, пылеуловитель сферический). Имеет

практическое применение также и двухступенчатая система пылеочистки, состоящая из циклона и тканевого фильтра. Однако, и сама древесная пыль обладает абразивными свойствами, и вместе с ней на очистку подаются абразивные частицы, образующиеся при работе металлического инструмента, при использовании шлифовальных кругов, при заточке инструментов. Все это подчас приводит к абразивному преждевременному износу аппаратов пылеочистки.

В мастерских и небольших цехах, где изготавливаются деревянные строительные конструкции, распространены *децентрализованные системы аспирации*. В них воздух очищается от пыли и в помещение возвращается очищенный поток с помощью агрегатов различных конструкций. Это решение имеет преимущество в виде снижения затрат, связанных с обработкой воздуха, подаваемого в помещение. Оно имеет и недостатки. Во-первых, небольшой объем обрабатываемого воздуха, так как если станок обладает несколькими отсосами, то каждый станок должен быть снабжен индивидуальным агрегатом. Во-вторых, так как агрегат располагается вблизи оборудования, он занимает существенную площадь помещения и может мешать работнику (шум вентилятора) или даже травмировать его. В-третьих, необходима сеть проводов, обеспечивающая агрегаты электроэнергией. В-четвертых, разработчики и производители рециркуляционных агрегатов считают, что их эффективность невелика (менее 96%) и, следовательно, в атмосферный воздух вблизи рабочего места попадает неуловленная пыль мелких фракций. Кроме того, каждый вид пыли требует определенную конструкцию агрегата. Отметим также, что пожаровзрывоопасность деревообрабатывающего производства относится к категории В (является пожароопасным) и должно быть вынесено за пределы цеха на расстояние более 10 м ограждений [36, 91].

Из вышеизложенного вытекает, что предпочтение заслуживают централизованные системы аспирации и обеспыливания. Поэтому ***для обеспечения надежности централизованных систем аспирации одной из***

задач проводимых исследований была выбрана разработка конструкции аппарата, позволяющего эффективно улавливать и неабразивные, и абразивные пыли.

Выводы по первой главе

1. Результатом проведенного анализа является тот факт, что при производстве строительных изделий и материалов из древесины в атмосферный воздух поступают следующие основные загрязняющие вещества: пыль от деревообрабатывающих станков, фенол, формальдегид, аммиак.

2. Проработка и анализ известной научной литературы и других научно-технических источников показали, что для обеспыливания воздушной среды на деревообрабатывающих предприятиях применяются централизованные и децентрализованные системы обеспыливания. При этом для очистки выбросов в атмосферу в централизованных системах аспирации и обеспыливания в большинстве случаев используются циклонные аппараты, в которых реализуются вихревые эффекты.

3. Исследований, посвященных загрязнению окружающей среды мелкими частицами PM_{10} и $PM_{2.5}$ для пыли древесины практически нет.

4. Исследования дисперсного состава пыли, образующейся при процессах деревообработки, дают данные только для частиц размером более 40 мкм.

5. Обоснованы и выбраны направления исследований. В качестве одного из направлений исследований данной работы было выбрано изучение возможности применения закрутки потока в горизонтальных воздуховодах. Для обеспечения надежности централизованных систем аспирации другой задачей проводимых исследований была выбрана разработка конструкции аппарата, позволяющего эффективно улавливать и неабразивные, и абразивные пыли.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

2.1 Объекты обследования и их характеристики

Эксперименты и исследования с целью оценки пылевой обстановки в производственных помещениях, а также анализ выбросов в атмосферу проводились на ряде предприятий г. Ростова-на-Дону, выпускающих строительные материалы, изделия и конструкции из древесины. На рисунке 2.1 приведен план обследованного деревообрабатывающего цеха. Производственное помещение высотой 4,5 м, вмещает в себя склад, камеру для сушки, бытовые помещения и технологическое оборудование, в состав которого входят: шлифовально-ленточный станок, две циркуляционные пилы, рейсмусовый станок, круглопильный станок, два сверлильно-долбежных станка, строгальный и фрезерный станки.

Для обеспечения требуемых санитарно-гигиенических условий в обследованных цехах устроена приточно-вытяжная вентиляция, запроектированная в соответствии с действующими рекомендациями и нормами [30, 35, 36, 75, 91, 93].

Для удаления и предотвращения выбросов пылевидных отходов в атмосферный воздух, образующихся при обработке древесины, непосредственно от мест их образования используют разветвленные или коллекторные системы аспирации (п.п. 1.2), которые включают: встроенные в корпуса станков пылеотсасыватели; сеть воздуховодов; вертикальный коллектор-пылесборник (в коллекторных системах); пылевой вентилятор; пылеуловитель (например, циклон).

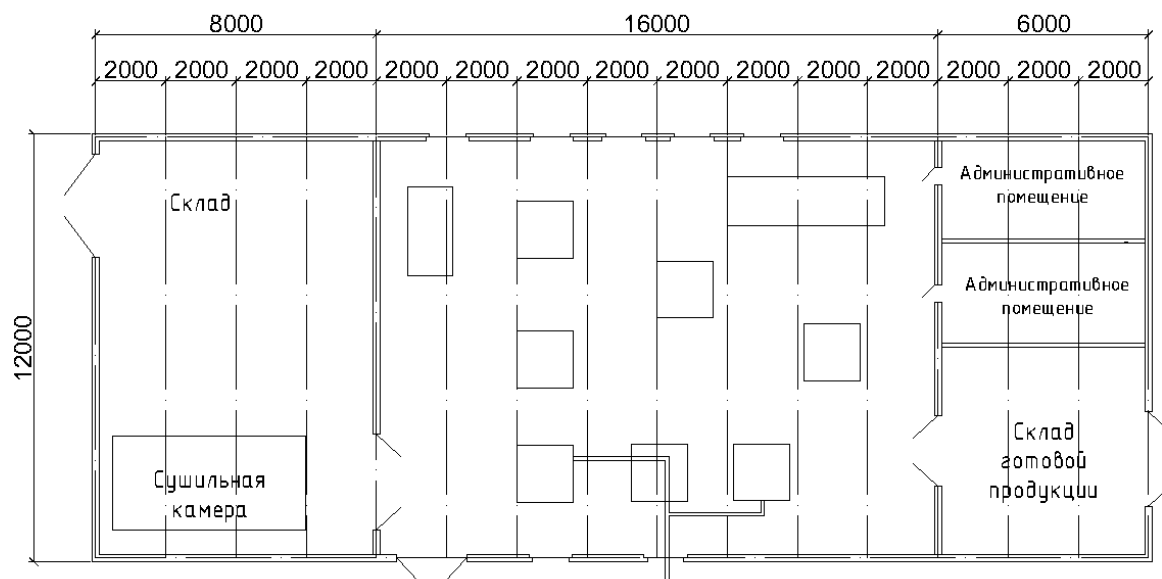


Рисунок 2.1 – Планы цеха деревообработки

В холодный период года чтобы компенсировать объем воздуха, удаляемый из цеха системами аспирации, устраивают организованный приток нагретого воздуха [23, 30, 36, 75, 91, 93]. Так подача приточного воздуха в производственное помещение происходит либо с высоты до 4 м от уровня пола через перфорированные воздуховоды типа ВПК [23, 30, 75], либо по «методу затопления» напрямую в рабочую зону с небольшими скоростями при помощи воздухораспределителей, которые имеют перфорированные поверхности (например, ВЭПш) [23, 30, 75]. Расчетный воздухообмен определяется исходя из условия компенсации объема воздуха, который удаляется из цеха системами местных отсосов [91].

В теплый период года подача воздуха в помещения деревообрабатывающих производств часто не осуществляется, и наружный воздух поступает в рабочую зону через открытые окна, ворота и технологические проемы [23, 30, 75]. Концентрации вредных загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования,

вентиляции для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих, а также на окружающую среду в соответствии с требованиями [35, 36, 91]. Поэтому при расчетах требуемого воздухообмена получается, что величина приточного воздуха превышает величину удаляемого системами аспирации, пневмотранспорта и обеспыливания воздуха. В этом случае в окружающую среду поступает через неплотности загрязняющие вещества.

В то же время в цехах могут быть и неорганизованные источники выбросов или источники с нестационарными выбросами. К таким относятся дефлекторы, эксфильтрация через проемы и неплотности и прочее. В таких случаях за расчетную величину концентрации C , как правило, принимают реальное значение концентрации $C_{р.з.}$

В цехах, подвергшихся обследованию, производят изделия из дуба, сосны, березы, ясеня, пихты, лиственницы.

2.2 Анализ механических свойств древесины

Как было отмечено в п.п. 1.1, механические свойства обрабатываемой древесины определяют интенсивность пылеобразования и степень отрицательного воздействия возникающей пыли.

Механические свойства древесины включают прочность, жёсткость, твёрдость, ударную вязкость и т.п. [63].

Прочность древесины (т.е. способность сопротивления древесины разрушениям, которые могут произойти вследствие применения механических усилий) характеризуется пределом прочности. Данное свойство материала определяется направлением действия нагрузки, породами дерева, плотностью, влажностью и наличием пороков [63].

Как известно, действия сил подразделяются на следующие виды: сжатие, растяжение, сдвиг, изгиб. Наиболее интенсивен в смысле пылеобразования предпоследний вид. Различают следующие виды сдвига:

скалывание вдоль и поперек волокон, а также перерезание [63]. Прочность древесины при скалывании в 4 раза меньше ее прочности при перерезании поперёк волокон [63]. Лиственные породы с широкими сердцевинными лучами (дуб, бук, граб) на 10-30% более прочны на скалывание по тангенциальной плоскости, нежели по радиальной [63]. При скалывании вдоль волокон предел прочности в два раза больше, чем если скалывать поперек волокон.

На прочность древесины отрицательно действует связанная влага в клеточных оболочках. Если увеличивается количество связанной влаги, прочность древесины понижается (особенно низкой она становится при влажности 20-25%). Если влажность переходит 30%-й барьер (предел гигроскопичности), то это перестает влиять на прочность древесины [63].

Таблица 2.1 содержит показатели, связанные с механической прочностью древесных пород, подвергавшихся обработке в обследованных цехах [63].

Твердость древесины определяется способностью сопротивляться внедрению в эту древесину более твердых тел. Эта характеристика неодинакова по разным направлениям зависит от плотности древесины. У хвойных пород твердость торцевой поверхности превышает радиальную и тангенциальную на 40%; для лиственных пород эта твердость выше на 30% [63,95, 96].

Таблица 2.1 - Механическая прочность древесины и ее показатели

Порода дерева	Механическая прочность древесины, МПа			
	На сжатие вдоль волокон	На изгиб	Скалывание	
			в радиальной плоскости	в тангенциальной плоскости
хвойные породы				
сосна	43,9	79,3	6,9	7,3
лиственница	51,1	97,3	8,3(83)	7,2(72)
пихта	33,7	51,9	4,7	5,3
твердолиственные породы				
дуб	52,0	93,5	8,5	10,4
ясень	51,0	115	13,8	13,3
береза	44,7	99,7	8,5	11

Твердость древесины определяется влажностью, содержанием в годичных слоях поздней древесины, местом произрастания и временем заготовки. Так, например, при увеличении влажности древесины на 1% торцовая твердость уменьшается на 3%, тангенциальная и радиальная — на 2% [95]. При увеличении поздней древесины повышается плотность и улучшаются механические свойства материала. Сосны, которые выросли на сухом месте, имеют прямые высокие стволы и их древесина тверже, чем древесина сосен, растущих на болотистых грунтах.

В России и Европе твердость древесины оценивают по шкале Бринелля, в США — по шкале Янка [95, 96].

Для определения твердости древесины по методу Бринелля используют индентор, который вдавливается в поверхность испытуемого образца с регламентированным усилием. В качестве индентора применяется шарик из закаленной стали с диаметром 10 мм. После истечения 30 секунд измеряется глубина и ширина образовавшейся вмятины. Твердость древесины по Бринеллю рассчитывается как отношение величины приложенной нагрузки к площади поверхности полученного отпечатка. Чем выше число, тем тверже дерево [59, 75, 96].

По шкале Бринелля твердость обрабатываемой на обследованных предприятиях древесины составляет: сосна – 2,49 кгс/мм², лиственница – 2,6 кгс/мм², дуб – 3,8 кгс/мм², береза – 3,6 кгс/мм², ясень – 4,0 кгс/мм² [96].

2.3 Экспериментальные исследования процессов распространения пыли в деревообрабатывающих цехах

2.3.1 Оценка запыленности воздуха на рабочих местах

При оценке выбросов в атмосферу от неорганизованных источников выбросов часто в качестве концентрации пыли выбирается запыленность на рабочих местах.

Экспериментальные исследования были проведены автором в различные периоды года: холодный, переходный и теплый. Отбор проб проводился при различных способах подачи приточного воздуха в помещение, которые характерны для деревообрабатывающего производства (п.п. 2.1).

Подвижность воздуха измерялась термоэлектроанемометром ТАМ-1, температура и относительная влажность — термогигрометр testo 608-H1.

Содержание вредного вещества в конкретной точке определяется суммарным временем отбора, которое составляет 30 мин. [41]. За данный период времени отбирались три последовательные пробы через равные промежутки времени, которые составляли 10 мин. [41].

В течение смены в одной точке последовательно отбирались пробы (по три пробы) при неизменности последовательности технологических операций, а также степени загрузки оборудования и виды породы обрабатываемого дерева.

В соответствии с требованиями [41], пробы воздуха на наличие пылевых частиц отбирались на аналитические аэрозольные фильтры типа АФА, которые размещены в открытом аллонже.

Перечень используемых приборов и материалов, используемых при экспериментальных исследованиях, приведен в таблице 2.2.

Для вычисления концентрации пыли использовалась следующая формула, в которой учтены условия отбора, а также анализа проб:

$$C = a/V, \text{ мг/м}^3, \quad (2.1)$$

где a — пылевая масса пыли во взятой пробе воздуха, мг;

V — объем воздуха, взятый для анализа и приведенный к указанным выше условиям при $t=293\text{K}$ (20°C) и $P=101,3$ кПа (760 мм рт. ст.), м^3 ;

t — температура воздуха в месте отбора проб, $^\circ\text{C}$;

P — атмосферное давление, кПа.

Когда отбор проб осуществляется аспирационным способом, имеем:

$$V = \frac{293VtP}{101,3(273 + t)}, \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Таблица 2.2 - Приборы и материалы, использованные при оценке уровня запыленности воздуха

№	Наименование	Назначение
1.	электроаспиратор Мигунова (модель 822)	отбор проб аэрозолей
2.	комплект резиновых шлангов	для соединения аллонжа с прибором
3.	весы электронные ALC-80d4	взвешивание фильтров
4.	фильтры АФА-ВП-20	определение запыленности воздуха
5.	аэрокон- П	определение запыленности воздуха
6.	Casella cel 712 microdust pro	определение запыленности воздуха (общая концентрация, PM _{2,5} , PM ₁₀)

Осредненные значения концентрации пыли в воздухе станочников приведены в таблице 2.3. В зоне дыхания работающих по концентрации пыли самые неблагоприятные условия отмечаются при процессах шлифования. Отходы, образующиеся при шлифовании, являются пылью, которая в дальнейшем поступает в атмосферный воздух. При обработке пород древесины разной твердости концентрация пыли в атмосферном воздухе при осуществлении одной и той же технологической операции находится в пределах от 2% до 11% (среднее значение — 6,5%).

Таблица 2.3 - Запыленность воздуха на рабочих местах при различных процессах деревообработки

Материал	Концентрация пыли, мг/м ³					
	Холодный и переходный период			Теплый период		
	Общая	PM ₁₀	PM _{2,5}	Общая	PM ₁₀	PM _{2,5}
пиление						
сосна	5,2-11,8	0,52-1,18	0,03-0,05	5,4-11,9	0,54-1,19	0,03-0,05

Продолжение таблицы 2.3

береза	5,5-11,9	0,55-1,19	0,04-0,05	5,5-12,1	0,55-1,21	0,04-0,05
дуб	5,4-11,6	0,54-1,16	0,05-0,06	5,6-11,6	0,56-1,16	0,05-0,06
ясень	5,4-11,0	0,54-1,1	0,04-0,05	5,7-11,3	0,57-1,1	0,04-0,05
фрезерование						
сосна	6,4-8,3	0,32-0,415	0,03-0,05	6,5-8,4	0,33-0,42	0,03-0,05
береза	6,6-8,4	0,33-0,42	0,04-0,05	6,6-8,4	0,33-0,42	0,04-0,05
дуб	6,5-8,6	0,33-0,43	0,05-0,06	6,7-8,9	0,34-0,45	0,05-0,06
ясень	6,5-8,6	0,33-0,43	0,04-0,05	6,6-8,6	0,33-0,43	0,04-0,05
сверление						
сосна	6,2-8,9	0,62-0,89	0,03-0,05	6,4-8,9	0,64-0,89	0,03-0,05
береза	6,4-9,1	0,64-0,91	0,04-0,05	6,9-9,1	0,69-0,91	0,04-0,05
дуб	6,3-8,9	0,63-0,89	0,05-0,06	6,3-9,4	0,63-0,94	0,05-0,06
ясень	6,5-9,1	0,65-0,91	0,04-0,05	6,6-9,1	0,66-0,91	0,04-0,05
строгание						
сосна	5,9-10,5	0,59-1,05	0,03-0,05	6,2-10,7	0,62-1,07	0,03-0,05
береза	6,1-10,9	0,61-1,09	0,04-0,05	6,5-10,9	0,65-1,09	0,04-0,05
дуб	6,3-10,7	0,63-1,07	0,05-0,06	6,3-10,7	0,63-1,07	0,05-0,06
ясень	6,4-10,8	0,64-1,08	0,04-0,05	6,4-10,9	0,64-1,09	0,04-0,05
шлифование						
сосна	7,7-13,1	0,77-2,62	0,04-0,07	7,8-13,1	0,78-2,64	0,04-0,07
береза	7,8-12,9	0,78-2,58	0,04-0,07	7,8-13,1	0,77-2,56	0,04-0,05
дуб	7,5-13,2	0,75-2,64	0,05-0,08	7,5-13,4	0,79-2,64	0,05-0,07
ясень	7,8-13,0	0,78-2,6	0,06-0,07	7,9-13,0	0,79-2,65	0,07-0,08

Данные по общей концентрации отличаются от результатов, которые приведены в работе А.Г. Лапкаева [57], на 5-45%. Также следует отметить, что в данной работе [57] не рассматривается загрязнение мелкодисперсной пылью и данные по PM_{10} , $PM_{2,5}$ отсутствуют. Результаты же замеров автора показали, что при различных способах организации воздухообмена диапазон изменения общей концентрации пыли в рабочей зоне находился в пределах 20%. Это утверждение по общей концентрации принципиально не расходится с данными А.Г. Лапкаева, поэтому можно сделать вывод, что способы подачи воздуха в меньшей степени оказывают влияние на общее загрязнение пыли, чем на PM_{10} , $PM_{2,5}$ (до 40%). Этот вывод сделан на основе измерений следующих способов организации воздухообмена: струями с высоты 4 метров, непосредственно в рабочую зону со скоростью 0,7 м/с, через дверные и оконные проемы.

На основании проведенных исследований параметров запыленности в рабочей зоне цехов по производству строительных конструкций из древесины можно сделать вывод, что общую концентрацию пыли, выбивающейся из цеха в окружающую среду через неплотности или дефлекторы, следует принимать равной концентрации в рабочей зоне, а значения PM_{10} и $PM_{2,5}$ следует принимать с учетом изменения до 40%.

2.3.2 Оценка выбросов в атмосферу на основании данных выбросов в рабочую зону

Выбросы пыли деревообрабатывающих производств в атмосферный воздух довольно часто сложно оценить. Более теплый воздух, выделяемый при работе машин и механизмов, поднимается вверх, и только часть выбросов удаляется аспирационными системами, а другая часть остается без очистки и, как правило, уходит в атмосферу через дефлекторы и неорганизованную вентиляцию. Выбросов в атмосферу поступает больше, чем удаляется аспирационными системами.

Для определения массы выбросов от источников пыления деревообрабатывающих производств предложен расчет по следующей схеме:



Рисунок 2.2 - Определение пылевых выбросов в атмосферу от деревообрабатывающего предприятия

где:

M – отходы;

K_1 – коэффициент, учитывающий долю отходов при деревообработке, которые переходят в пыль (состояние твердых взвешенных частиц);

K_2 – коэффициент, учитывающий долю «тяжелой» пыли, оседающей на пол;

K_3 – коэффициент, учитывающий долю пыли, неочищенной системами аспирации, поступающей в воздушную среду производственного помещения;

K_4 – коэффициент, учитывающий долю «задержанной» пыли в системах аспирации;

K_5 – коэффициент, учитывающий долю пыли, подвергнутой вторичному подъему в воздушной среде производственного помещения;

K_6 – коэффициент, учитывающий долю пыли, удаляющейся в процессе пылеуборки;

K_7 – коэффициент, учитывающий долю пыли, поступающей путем эксфильтрации в окружающую среду (неплотности окна и др.);

K_8 – коэффициент, учитывающий долю пыли, поступающей через общеобменную вытяжную вентиляцию.

$\varepsilon_{асп}$ – степень проскока пыли в пылеулавливающем устройстве,

$\varepsilon_{пу}$ – степень проскока пыли в пылеуборочном устройстве

В общем виде концентрация выбросов будет рассчитываться по формуле:

$$C_i = (K_1 \cdot K_2 \cdot K_6 \cdot \varepsilon_{пу} + K_1 \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_7 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_8 + K_1 \cdot K_3 \cdot K_7 + K_1 \cdot K_3 \cdot K_8 + K_1 \cdot K_4 \cdot \varepsilon_{асп}) \cdot M \quad (2.3)$$

В процессе проведения экспериментальных исследований о распространении пыли в воздухе отбор проб осуществлялся на высоте 1,5 м от пола помещения на различных расстояниях от станков разного типа.

Замеры осуществлялись в разные периоды года при холодной, переходной и теплой погоде. Отбор проб был проведен при различных способах запуска приточного воздуха в помещение, характерных для

деревообрабатывающего производства (п.п. 2.1), для того, чтобы определить, какое количество пыли удаляется в помещение, а какое выбрасывается в окружающую среду.

В течение одной смены в одной фиксированной точке последовательно были отобраны по три пробы при выполнении условия, что работает лишь один станок, а остальное оборудование отключено.

На рис. 2.2 приведен пример графических зависимостей, характеризующих изменения концентрации пыли в воздухе у рабочей зоны на различных расстояниях от круглопильного станка во время обработки различных пород древесины. Данные демонстрируют оптимальную работу систем аспирации.

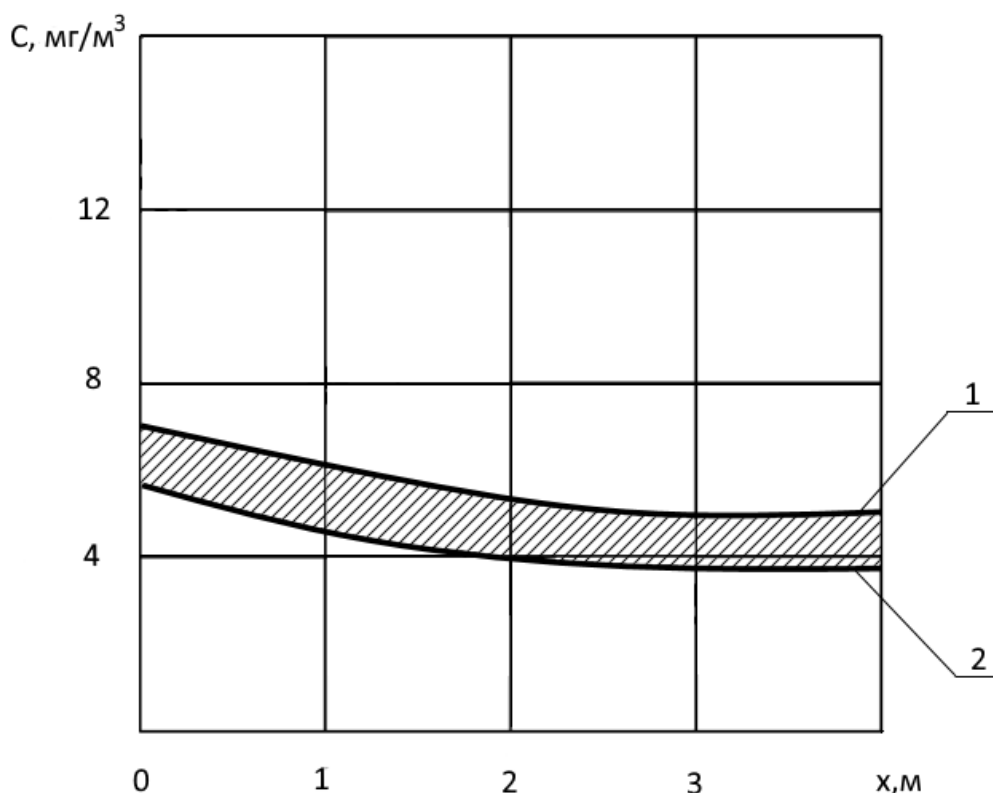


Рисунок 2.2 – Изменение концентрации в воздухе рабочей зоны на высоте 1,5 м на разных расстояниях от круглопильного станка для пыли, образующейся при обработке различных видов древесины: 1 - при подаче воздуха с высоты до 4-х м; 2 - при подаче воздуха непосредственно в рабочую зону.

Данные опытов говорят о том, что концентрация пыли в воздухе помещения изменяется по экспоненциальному закону с расстоянием от станка и это происходит независимо от способа подачи воздуха и породы древесины. Именно, это изменение аппроксимируется интегралами

$$C_{p.z.cp} = \sum_{i=1}^N \int_F C_i \cdot \exp(-a_i \sqrt{x^2 + y^2}) dx dy, \quad (2.4)$$

где:

C_i – концентрация у i -го станка, мг/м³;

F – площадь помещения, м²;

N – количество станков;

a – коэффициент, учитывающий вид станка;

x, y – координаты точек измерений.

При малом количестве станков концентрации превышают среднюю концентрацию. При этом превышение не превосходит 20-25%. Коэффициенты a_i принимаются согласно экспериментальным значениям [104] таблицы 2.4.

Таблица 2.4 - Экспериментальные значения коэффициента a в экспоненциальных зависимостях, характеризующих изменение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны с расстоянием от разных станков по [88]

Наименование станков	a
круглопильные	- 0,501
строгальные	- 0,638
фрезерные	- 0,624
шипорезные	- 0,626
ленточнопильные	- 0,884
сверлильные	- 0,936
шлифовально-ленточные	- 0,11
рейсмусовые	- 0,286

Для того чтобы показать применимость формулы 2.4 для оценки средней концентрации пыли в рабочей зоне, полученные расчетные и измеренные значения концентраций представим в графическом виде:

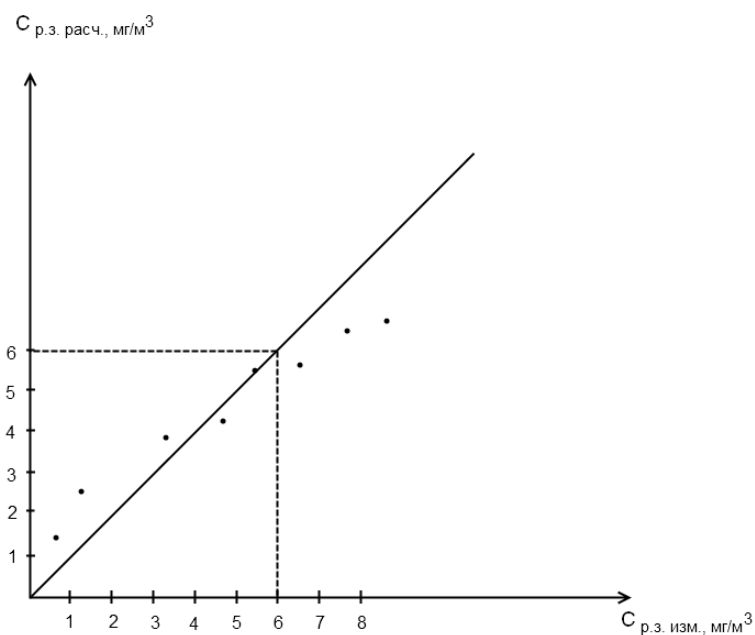
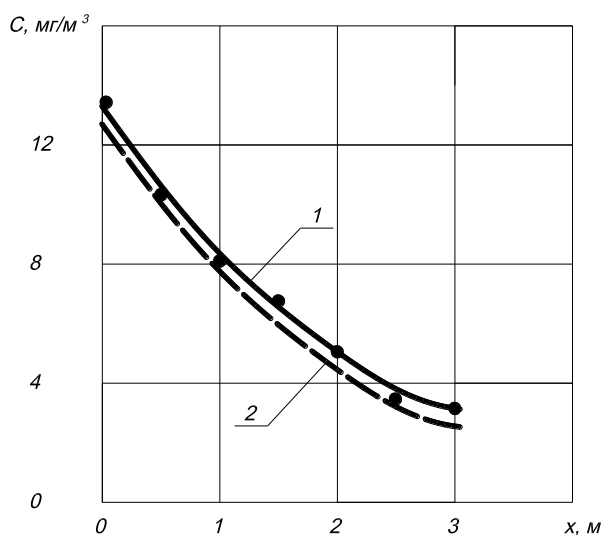
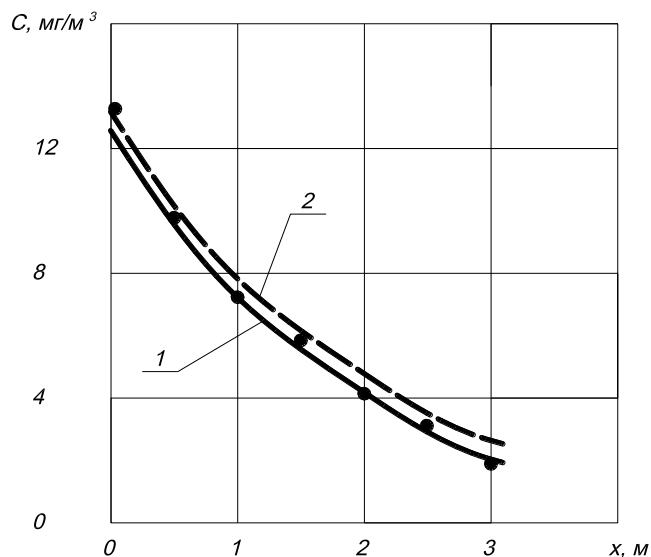


Рисунок 2.3 - График соотношения расчетной и измеренной концентрации пыли в рабочей зоне

При оптимальной работе аспирационных систем концентрации C_i рабочей зоны находятся в пределах $5-6 \text{ мг/м}^3$, при неоптимальной – превышают ПДК древесной пыли [104] (см. рис. 2.4.).



а



б

Рисунок 2.4 – Изменение концентрации в воздухе рабочей зоны на высоте 1,5 м на разных расстояниях от круглопильного станка для пыли, образующейся при обработке сосны: а – при подаче воздуха с высоты до 4-х м; б – при подаче воздуха непосредственно в рабочую зону [104].

2.3.3 Исследования распространения пыли по высоте помещения

Законы распространения пыли по высоте цехов исследовались на действующих предприятиях изучаемой отрасли. Объем цеха разбивался на элементарные объемы. Длина и ширина элементарных объемов соответствовали шагу колонн, а высота – высоте цеха. На рис. 2.8 на примере цеха, изображенного на рисунке 2.1, показано соответствующее деление помещения. Отбор проб был проведен по аналогии с п.п. 2.3.1, 2.3.2 в точках, расположенных в нескольких частях помещения для каждых 0,5 м высоты. Схема замерных точек в плане дана на рис. 2.9. Схема замерных точек на фронтальных поверхностях элементарных объемов приведена на рис. 2.10. На боковых поверхностях элементарного объема выбор замерных точек проводился аналогично.

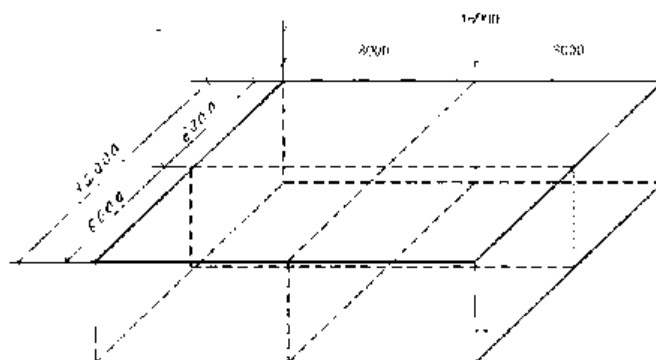


Рисунок 2.8 – Схема разделения цеха на объемы при исследованиях распределения концентрации пыли по высоте помещения

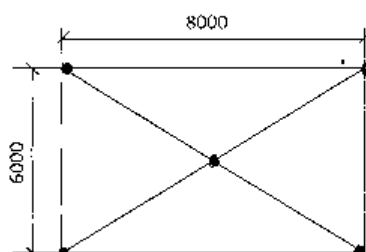


Рисунок 2.9 – Схема размещения замерных точек в объеме в плане

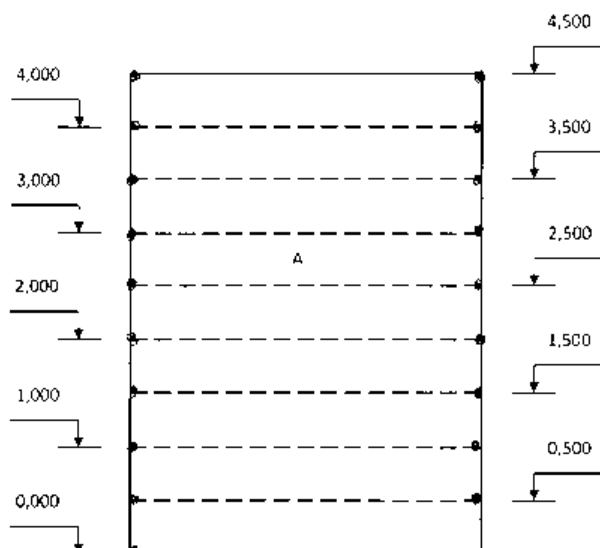


Рисунок 2.10 – Схема размещения замерных точек на фронтальной поверхности объема

Опыты проводились при двух различных способах подачи свежего воздуха в помещение: подача с высоты не более 4-х м и подача прямо в рабочую зону.

Осредненные результаты опытов в виде графиков представлены на рис. 2.11 и 2.12. При этом использованы следующие обозначения: h – высота замерного сечения; H – высота помещения; $h_{p.z.}$ – высота рабочей зоны (2 м); C_i – концентрация пыли в i -том замерном сечении, мг/м^3 ; $C_{p.z.}$ – концентрация пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3 .

На рисунке 2.11 видно, как изменяется концентрация пыли по высоте цеха, если подача воздуха осуществляется прямо в рабочую зону. Для этого использовались воздухораспределительные панели ВЭПш. Они обладают высокой эжектирующей способностью и обеспечивают быстрое затухание скоростей при выходе из устройства [30]. Все это дает возможность устанавливать устройства для раздачи воздуха вблизи рабочих мест.

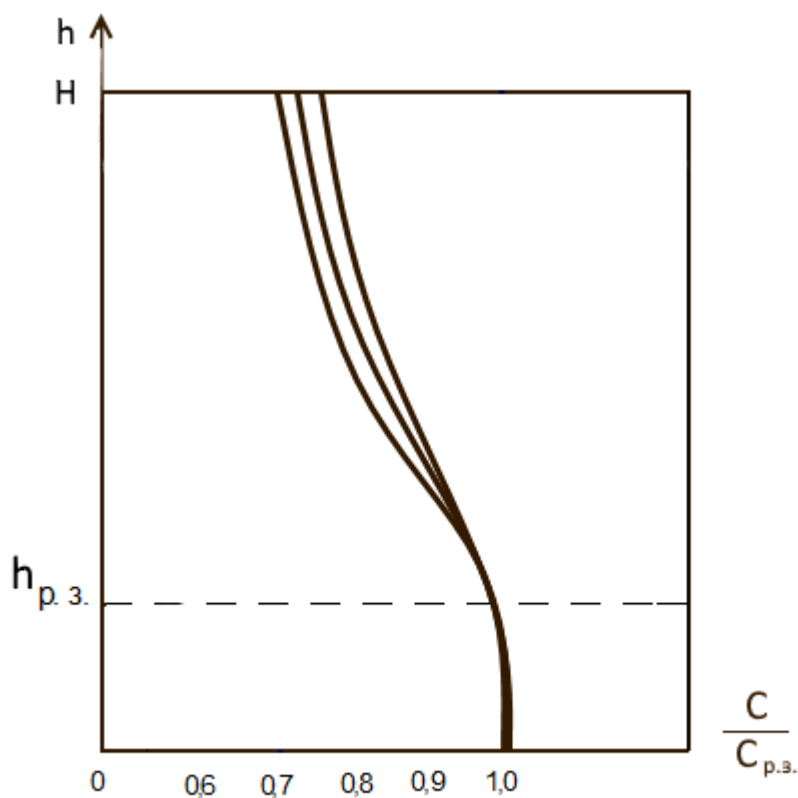


Рисунок 2.11 – Изменение концентрации пыли по высоте цеха при подаче воздуха в рабочую зону

В данном случае отработанный воздух вытесняется из рабочей зоны и исключено вовлечение в циркуляцию загрязненного воздуха, находящегося в верхней зоне помещения. Вместе с тем наблюдается постепенный рост запыленности воздуха вне рабочей зоны. В атмосферу общеобменными вентиляционными системами выбрасывается воздух со значительным содержанием пыли (большим, чем в рабочей зоне).

На рисунке 2.12 показано изменение концентрации пыли по высоте цеха при подаче воздуха в рабочую зону с высоты до 4-х м.

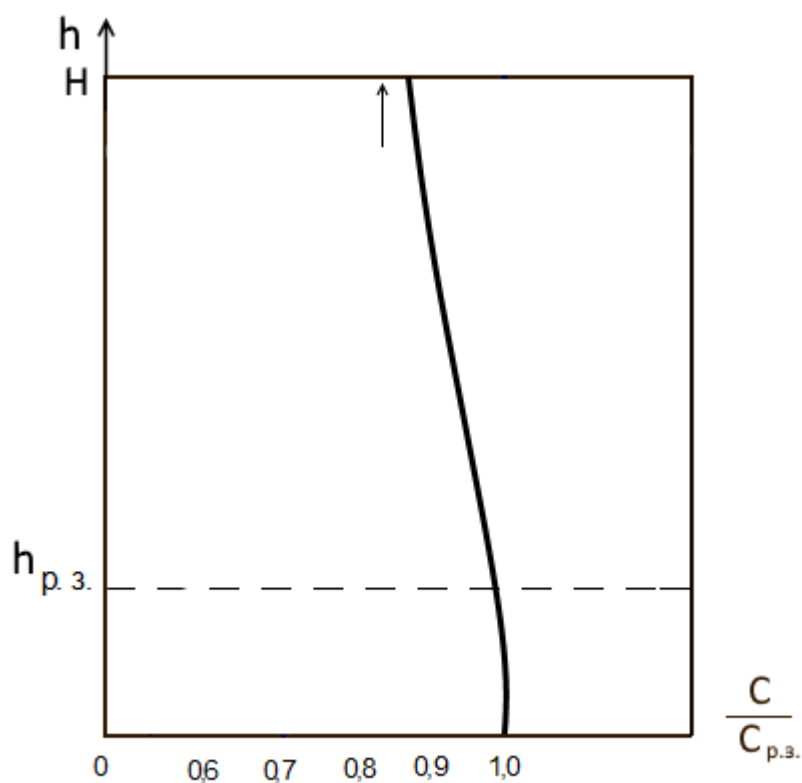


Рисунок 2.12 – Изменение концентрации пыли по высоте цеха при подаче воздуха в рабочую зону с высоты до 4-х м

Для этого случая характерно резкое возрастание концентрации пыли на уровне расположения воздухоподающего устройства. Затем концентрация пыли по высоте цеха остается практически постоянной, но в атмосферу также выбрасывается воздух с большим содержанием пыли, чем в рабочей зоне.

Таким образом, способ организации воздухообмена влияет не только на концентрацию в рабочей зоне, но и на выбросы в атмосферу.

2.4. Влияние древесной пыли на природную среду при строительстве и эксплуатации объектов агропромышленного комплекса

Несмотря на разнообразие современных строительных материалов, во многих случаях предпочтение по-прежнему отдается применению

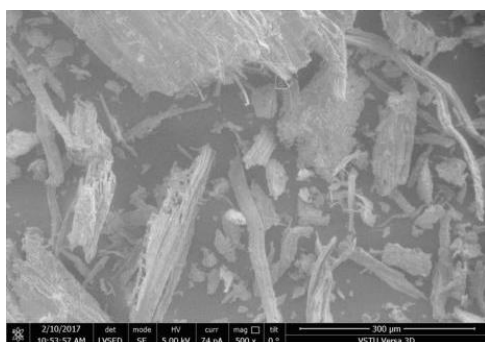
конструкций и изделий из древесины (стропила, полы, плинтусы, оконные рамы, лестницы и перила и т.д.), особенно в сельском хозяйстве, где древесина, как строительный материал, используется традиционно и для жилого строительства, и для возведения сооружений различного назначения, например, сооружений для стойлового содержания животных – коровников, конюшен и др. Кроме того, практически на каждом элеваторе и других объектах, предназначенных для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, имеются деревообрабатывающие участки или мастерские. При механической обработке древесины образуется значительное количество пыли. Так, например, по данным, приведенным в [14], при работе круглопильных станков в зависимости от марки выделяется от 10,7 до 61,2 кг/ч пыли, при работе строгальных – от 8,2 до 122 кг/ч и т.д. Рассмотрим фракционный состав пыли, образующейся при механической обработке древесины, как одну из ее важнейших характеристик, обуславливающих негативное воздействие как на человека, так и на окружающую природную среду.

По данным, приведенным в [14], на долю пылевых частиц с размерами до 40 мкм приходится от 0,5 до 3% в зависимости от технологического процесса. Однако результаты собственных исследований [65], проведенных по методике [6], а также результаты, полученные другими авторами [55], показывают, что в зависимости от породы древесины при ее механической обработке образуется пыль, в составе которой содержится от 15 до 85% и от 0,8 до 8%, соответственно, частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, признанных Всемирной организацией здравоохранения одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды.

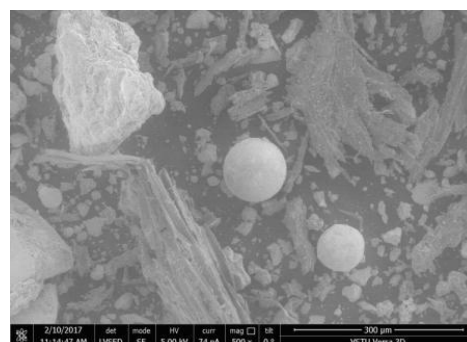
Негативное воздействие мелкодисперсной пыли на разнообразные компоненты растительных ценозов, обуславливающее угнетение их роста, возникновение морфологических аномалий, исчезновение неустойчивых видов, изменение химического состава почвы и т.п. подробно описано во многих работах и, в частности, в [92]. В том числе, пыль сильно ослабляет

газообмен, процессы дыхания и фотосинтеза, вызывает угнетение сельскохозяйственных культур, затрудняет их рост и снижает продуктивность. Один из видов негативного воздействия пыли на растения – механический – в определенной степени обусловлен формой пылевых частиц. Исследования морфологического состава древесной пыли показали, что в большинстве своем ее частицы имеют пластинчатую форму с острыми зазубренными краями (рис. 2.13, а).

Другой тип воздействий пыли – химический – связан с фитотоксичностью составляющих ее частиц. С этой точки зрения интерес представляют результаты исследований адсорбционной способности древесной пыли.



а



б

Рисунок 2.13 - Микрофотографии частиц древесной пыли:
а – сразу после ее образования; б – после контакта с атмосферным воздухом

На рис. 2.14 приведены результаты определения элементного состава частиц древесной пыли сразу после ее образования, которые показали содержание в исследуемых образцах соединений кремния и алюминия, что, в свою очередь, свидетельствует о наличии цеолитов, являющихся активными сорбентами. Их появление после контакта исследуемой пыли с атмосферным воздухом и наличие в виде кристаллов шарообразной формы прослеживается на рис. 2.13.б.

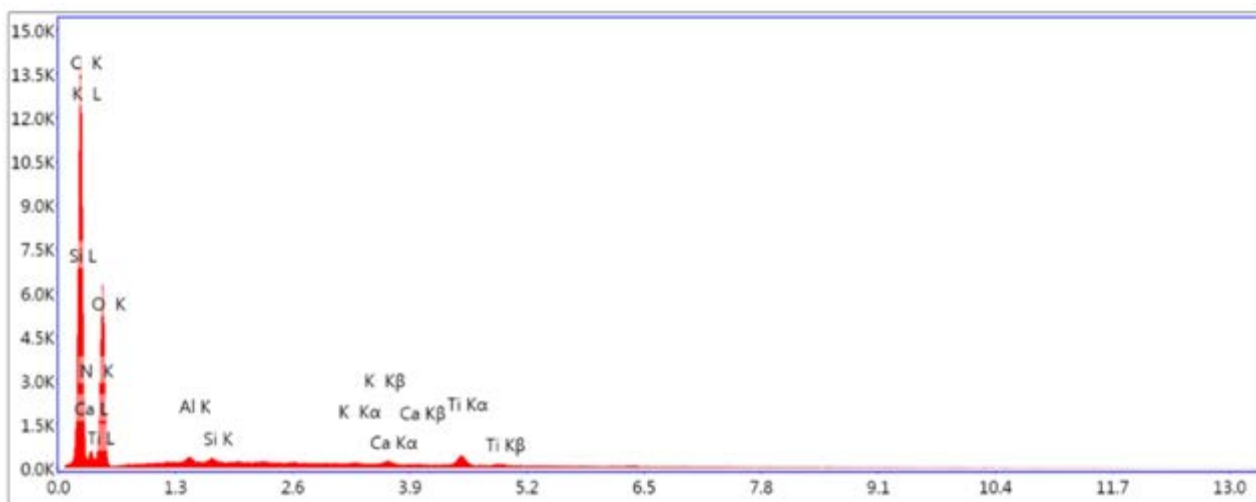


Рисунок 2.14 - Хромотограмма древесной пыли после ее образования.

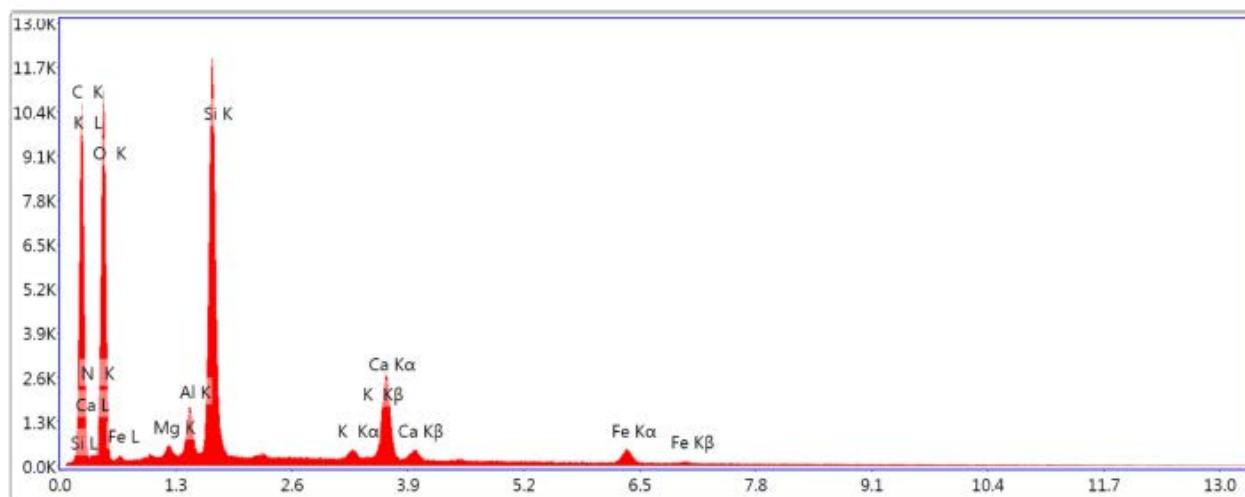


Рисунок 2.15 - Хромотограмма древесной пыли после ее контакта с атмосферным воздухом

Полученные данные показали, что образующаяся при механической обработке древесины пыль в элементном составе частиц может содержать соединения кальция, относящиеся к веществам умеренно опасным (3 класс опасности для окружающей природной среды), а также соединения алюминия, отнесенные к высоко опасным веществам (2 класс опасности). После контакта исследуемых образцов с атмосферным воздухом весовая доля соединений калия в пылевых частицах возросла почти в 4 раза, соединений кальция – в 13,5 раз, соединений алюминия и кремния – в 5,6 и 6,8 раз

соответственно (рис. 2.15). Кроме того, после контакта с атмосферным воздухом в элементном составе частиц древесной пыли отмечено появление соединений магния и железа (3 класс опасности для окружающей природной среды). Эти результаты свидетельствуют о достаточно высокой адсорбционной способности исследуемой пыли.

Таким образом, негативное воздействие древесной пыли на окружающую природную среду, в том числе на сельскохозяйственные культуры, с одной стороны, обусловлено присутствием в ее составе значительного количества мелкодисперсных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, а также особенностями ее морфологического состава, и, с другой стороны, ее способностью при нахождении в атмосферном воздухе сорбировать разнообразные вещества, в том числе относящиеся к высоким классам опасности.

Выводы по второй главе

1. Установлено, что на местах, где осуществляются работы по производству деревянных строительных конструкций и изделий, запыленность воздуха превышает принятый норматив $ПДК_{рз}$ для древесной пыли в среднем в 1,3-2,5 раза. Наиболее неблагоприятные условия труда отмечены на местах работы станочников шлифовально-ленточных станков, где концентрация пыли может достигать 5,7 $ПДК_{рз}$.

2. Предложена схема расчета для определения пылевых выбросов в атмосферу от деревообрабатывающего предприятия.

3. При оптимальной работе аспирационных систем концентрации C_i рабочей зоны находятся в пределах 5-6 $мг/м^3$, при неоптимальной – превышают $ПДК$ древесной пыли.

4. Концентрация пыли в воздухе помещения изменяется с расстоянием от станка по экспоненциальному закону независимо от породы древесины и способа подачи воздуха.

5. Зафиксированы данные об изменении запыленности воздуха по высоте деревообрабатывающего цеха в зависимости от метода подачи воздуха в помещении.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА И ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПЫЛИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Результаты оценки фракционного состава, формы частиц и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе

Для проведения дисперсионного анализа была использована методика микроскопического анализа с применением ПК [5, 6, 38, 49] и компьютерной программы для дисперсного анализа *DUST* [82].

Отбор проб древесной пыли проводился в точках, находящихся на разных расстояниях от деревообрабатывающего цеха: на территории промплощадки (25м, 50м) и на границе санитарно-защитной зоны (100 м) [89]. Время отбора в каждой точке равнялось 20 минутам. Контроль метеорологических условий при отборе проб древесной пыли осуществлялся согласно с требованиями [84]. Некоторые из полученных результатов представлены в таблице 3.1. Условия проведения приведенных замеров: относительная влажность воздуха $\varphi = 72\%$, скорость ветра 1,2 м/с, температура воздуха $t = 18^\circ\text{C}$.

Одновременно производилось исследование дисперсного состава пыли микроскопическим методом, по методикам, изложенным в работах [105, 8, 9, 10]. На рисунках 3.1 и 3.2 приведены интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам в конце и начале рабочего дня.

Таблица 3.1 - Результаты оценки фракционного состава и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе

Расстояние от цеха, м	Общая концентрация мг/м³	PM ₁₀		PM _{2,5}	
		Содержание %	Концентрация мг/м³	Содержание %	Концентрация мг/м³
время проведения замеров – начало рабочего дня					
25	4,8	8	0,39	-	-
50	3,7	9	0.33	-	-

Продолжение таблицы 3.1

100	0,31	95	0,29	0,5	0,002
время проведения замеров – конец рабочего дня					
25	4,3	10	0,43	-	-
50	2,9	15	0,44	-	-
100	0,32	98	0,31	10	0,03

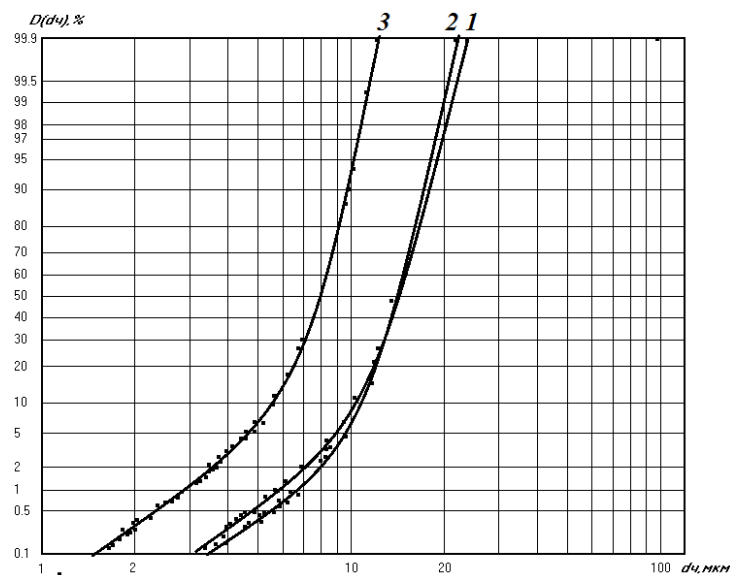


Рисунок 3.1 – Интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам (в начале рабочего дня):

1 - на расстоянии 25 м от цеха; 2 - на расстоянии 50 м от цеха;
3 - на расстоянии 100 м от цеха

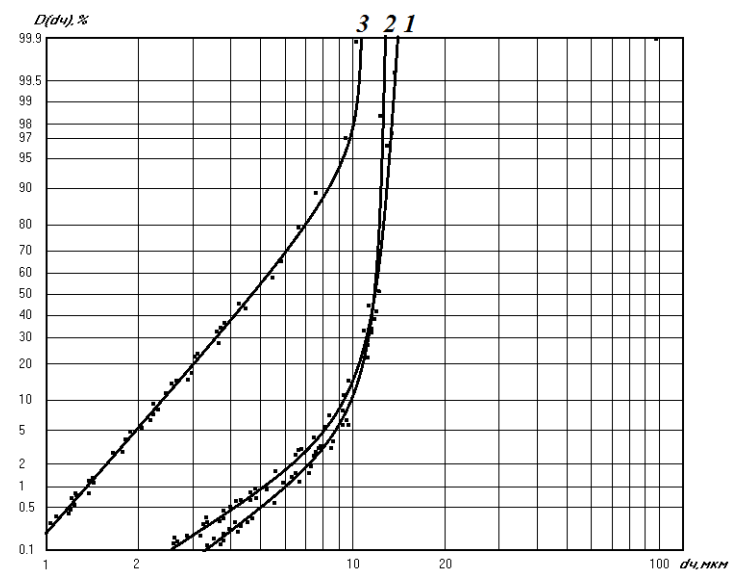


Рисунок 3.2 – Интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам (в конце рабочего дня): 1 - на расстоянии 25 м от цеха;

2 - на расстоянии 50 м от цеха; 3 - на расстоянии 100 м от цеха

Полученные результаты показали, что в атмосферный воздух поступают частицы пыли, основная масса которых приходится на частицы с размерами менее 20 мкм. Причем в начале рабочего дня в атмосферном воздухе на территории промплощадки на долю частиц PM_{10} приходится 5-10%, в конце рабочего дня – 9-12%. Однако на границе санитарно-защитной зоны содержание мелкодисперсных частиц возрастает и составляет: для частиц PM_{10} в начале рабочего дня 50%, в конце рабочего дня – 98%; для частиц $PM_{2,5}$ – 0,6% и 15% соответственно.

На рисунке 3.3 приведена графическая зависимость, характеризующая изменение доли частиц PM_{10} в атмосферном воздухе на разных расстояниях от деревообрабатывающего цеха.

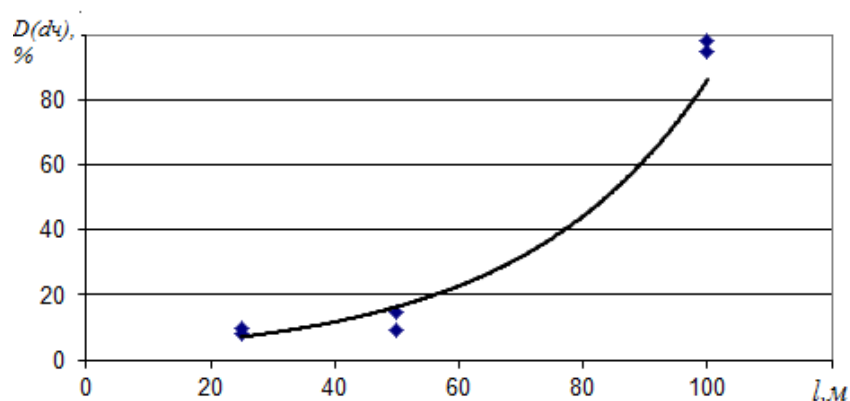


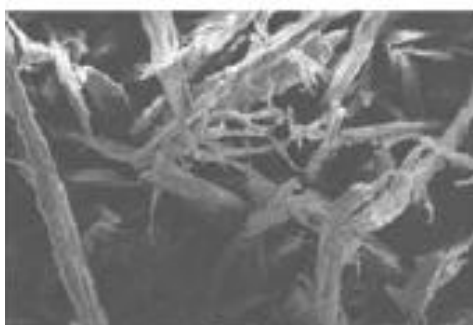
Рисунок 3.3 – Изменение доли частиц PM_{10} в атмосферном воздухе в начале рабочего дня в зависимости от расстояния

Полученные данные свидетельствуют о том, что распространение пыли происходит по экспоненциальному закону и описывается выражением

$$D(d_q) = 3,1038 e^{0,0332L}. \quad (3.1)$$

Частицы древесной пыли имеют разнообразную вытянутую форму, отличающуюся от сферичной формы с резкими изломами и разветвлениями. На рисунке 3.4 в качестве примера представлены фотографии частиц древесной пыли, образующейся при шлифовании, и содержащейся в

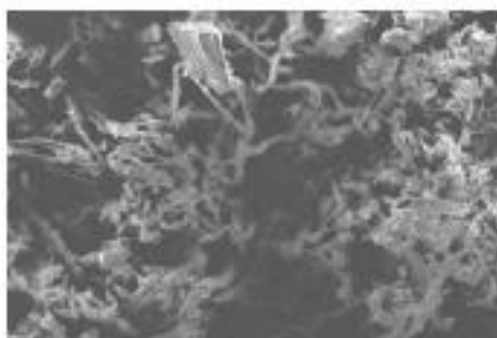
атмосферном воздухе на разных расстояниях от цеха. По толщине у частиц наблюдаются резкие переходы от узкой части к расширению.



а



б



в

Рисунок 3.4 – Микрофотографии частиц пыли, содержащейся в атмосферном воздухе на расстоянии: а – 25 м; б – 50 м; в – на границе санитарно-защитной зоны

На рисунке 3.5 представлена фотография частиц древесной пыли, выделяющейся при процессах деревообработки, в производственном помещении деревообрабатывающего цеха.

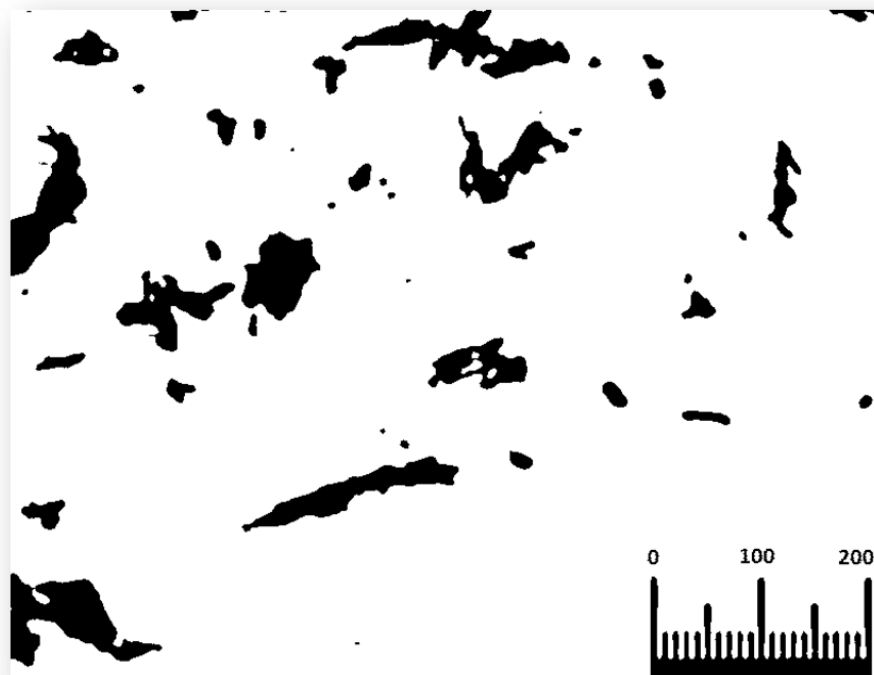


Рисунок 3.5 – Микрофотографии частиц древесной пыли, выделяющейся при процессах деревообработки, в производственном помещении деревообрабатывающего цеха

На рисунке 3.5 видно, что чем больше размер частицы (ее эквивалентный диаметр), тем ниже геометрический коэффициент формы, т.е. частица имеет более вытянутую форму.

3.2 Исследование основных свойств древесной пыли, поступающей в атмосферный воздух от источников деревообрабатывающего цеха

Для исследования основных свойств древесной пыли использовались стандартные методики, описанные в [16, 48].

Насыпная плотность определялась весовым методом. Для этого использовался мерный цилиндр из стекла объемом 50 см^3 с ценой деления шкалы $0,5 \text{ см}^3$ (рисунок 3.6) [48].

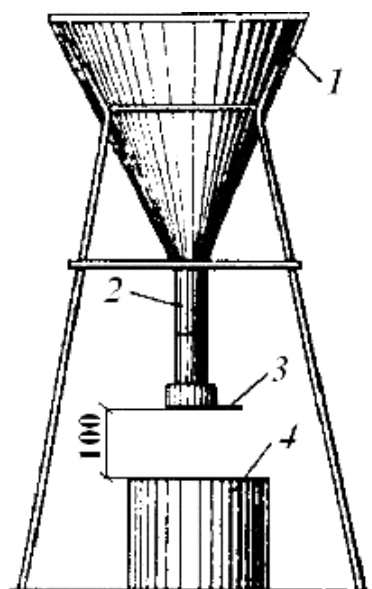


Рисунок 3.6 - Прибор для определения насыпной плотности материала.
1 – воронка; 2 – трубка; 3 – задвижка; 4 – мерный сосуд

Перед началом измерения насыпной плотности определяется масса мерного цилиндра M_1 . После этого мерный цилиндр с объемом V наполняется предварительно высушенной пылью. Пыль, которая находится выше верхней кромки цилиндра, удаляется. Определяется масса цилиндра с пылью M_2 . Тогда насыпная плотность определяется по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{M_2 - M_1}{V} . \quad (3.2)$$

Кажущаяся плотность определяется манометрическим методом с помощью закона Бойля-Мариотта [48] (схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.7). Объемный вес материала вычисляется так. Перекрывается запорный кран и объем воздуха ΔV_1 шприцем подается в систему. Далее по показаниям U -образного манометра получаем показания изменения объема ΔV и приращения давления P_{1N} .

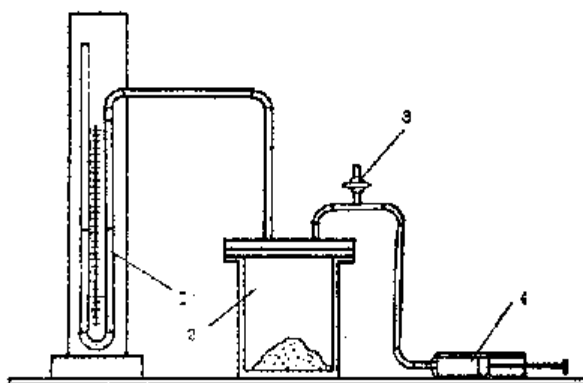


Рисунок 3.7 – Определение кажущейся плотности пыли с помощью вытеснения объема газа. Схема установки.

1 – U-образный манометр; 2 – сосуд с герметичной крышкой;
3 – запорный кран; 4 – шприц

Так как рассматриваемый процесс изотермичен, запишем уравнение газового состояния так:

$$PV = P_1(V + \Delta V - \Delta V_1), (3.3)$$

где P — атмосферное давление, Па;

V — начальный объем воздуха в системе, м³;

P_1 — абсолютное давление, Па

При этом

$$P_1 = P + P_{1N}, (3.4)$$

P_{1N} — избыточное давление воздуха, определяемое по U-образному манометру, Па.

Помещая исследуемую пыль в сосуд и проведя операцию вытеснения с помощью шприца объема ΔV_1 , запишем (3.3) следующим образом:

$$P(V - X) = P'_1(V - X + \Delta V' - \Delta V_1), (3.5)$$

где X — искомый объем исследуемой пыли, м³;

$\Delta V'$ — изменение объема по шкале манометра, м³;

$$P'_1 = P + P'_{1N}. (3.6)$$

Решая совместно уравнения (3.3) и (3.5) относительно X и исключив начальный объем воздуха в системе V , получаем:

$$X = P \left(\frac{\Delta V_1}{P_{1N}} - \frac{\Delta V}{P_{1N}} + \frac{\Delta V'}{P'_{1N}} - \frac{\Delta V_1}{P'_{1N}} \right) + \Delta V' - \Delta V. \quad (3.7)$$

Результаты определения плотности пыли по породам древесины приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Плотность древесной пыли

Порода древесины	Плотность древесной пыли, кг/м ³	
	кажущаяся	насыпная
сосна	1340	149
пихта	1290	138
лиственница	1400	162
береза	1480	177
дуб	1530	184
ясень	1420	192

Истинная плотность (т.е. плотность сухих частиц, не имеющих внутренних пор) древесной пыли зависит от ее дисперсного состава. Однако, с уменьшением размера частиц снижается число закрытых пор и плотность увеличивается, приближаясь к плотности древесного вещества, принятой в среднем 1540 кг/м³ [62].

Наиболее актуальная методика, следуя которой изучают слипаемость пыли — это методика Е.И. Андрианова [16]. Согласно этой методике исследуют разрывную прочность пылевых слоев, которую специально формируют для этой цели. Получаемый в результате показатель делает возможным разделение всей пыли на 4 группы слипаемости. К группе 1 причисляют неслипающиеся пыли, к группе 2 — слабослипающиеся пыли, к группе 3 — среднеслипающиеся, к группе 4 — сильнослипающиеся [16].

Согласно работе [105], эти группы соответствуют четырем интервалам разрывной прочности слоя: 1) менее 60 Па; 2) более 60 Па, но менее 300 Па; 3) более 300 Па, но менее 600 Па; 4) более 600 Па.

Ниже приведена схема экспериментальной установки (см. рис. 3.8) для определения слипаемости изучаемой пыли. С помощью специальных весов к верхней части составного цилиндра прикладывалось разрывное усилие. Цилиндр подвешивался к одному из плеч рычага весов. Нижняя сторона цилиндра закреплялась. К другому плечу рычага подвешивалась емкость с сыпучим материалом. Разрывное усилие $F_{\text{р.у.}}$ определялась взвешиванием сыпучего материала в момент разрыва пылевого слоя. Прочность слоя P вычислялась по формуле:

$$P = \frac{F_{\text{р.у.}} - G_{\text{к}}}{S}, \quad \text{Па} \quad (3.8)$$

где $G_{\text{к}}$ — вес трубки с плунжером и пылью, удерживаемой силами адгезии и трения о стенки, Н;

S — площадь поперечного сечения слоя, равная 0,0002 м².

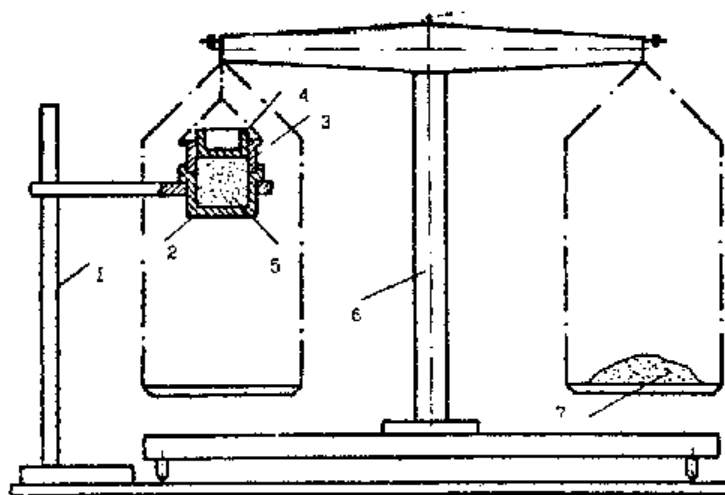


Рисунок 3.8 – Установка для определения слипаемости пыли.

1 – штатив; 2 – стакан; 3 – трубка; 4 – плунжер; 5 – исследуемая пыль;
6 – рычажные весы; 7 – сыпучий материал

В результате исследований была получена следующая разрывная прочность пылевых слоев, образующихся при обработке следующих

древесных пород: сосна – 684 Па; пихта – 679 Па; лиственница – 681 Па; береза – 688 Па; дуб – 673 Па; ясень – 665 Па. Результаты экспериментов показали, что, образовавшаяся при механической обработке пыль (независимо от породы древесины) являлась сильнослипающейся (группа 4).

Так называемая диспергируемость пыли (пылящая способность) – свойство пыли, характеризующее две способности порошкообразного продукта: 1) переходить в состояние взвешенности; 2) склонность к азрированию [49]. Согласно величине пылящей способности различные пыли разделяются на три группы (см. [16, 49]): сильно пылящие (более 70 процентов); пылящие (от 50 до 70 процентов); слабо пылящие (от 30 до 50 процентов). Для пыли, образующейся при обработке древесины механическим способом, использовалась методика определения диспергируемости Н.Е. Пестова. Именно, производились следующие действия. Фиксированная масса пыли порциями через воронку направлялась в струю воздуха, которая распыляла материал (создавалась скорость воздушного потока 2 м/с). Часть пыли оседала на кристаллизаторе, установленном под струей и с центром, находящимся на расстоянии 300 мм от центра воронки. Распыляемость определялась по формуле

$$П = \frac{G_1 - G_2}{G_1} , \% ,$$

где G_1 , G_2 — масса насыпной загрузки (соотв., пыли), осевшей на кристаллизаторе. По результатам экспериментов было установлено, что пыль, возникающая при механической обработке древесины, по описанной классификации относится к группе пылящих.

Результаты оценки диспергируемости исследуемой пыли приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Пылящая способность пыли, образующейся при механической обработке древесины

Порода древесины	Диспергируемость П, %	Группа
сосна	62	пылящие
пихта	60	
лиственница	57	
береза	52	
дуб	54	
ясень	55	

К реологическим свойствам пыли относятся аркообразование, аэрируемость и сыпучесть.

Оказывается, пыль способна к образованию достаточно устойчивой сводовой структуры. Эта способность, называемая аркообразованием, обуславливает зависание порошкообразного материала над выпускным отверстием [48, 25]. Основными показателями склонности пыли к аркообразованию являются диспергируемость и класс сыпучести. Экспериментальная оценка аркообразования для пыли, возникающей при обработке различных древесных пород, дает результаты, приведенные в таблице 3.4.

Основной характеристикой сыпучести является способность материала образовывать дискретно-непрерывный устойчивый поток. Существует семь классов сыпучести [48, 25]. Сыпучесть оценивается с помощью динамического угла естественного откоса. Результаты такой оценки представлены в таблице 3.4.

Способность материала к образованию псевдоожиженной системы с лавинообразным неустойчивым истечением называется аэрируемостью [48, 25]. Существует пять классов, на которые порошкообразные продукты делятся по этому показателю (с учетом распыляемости и сыпучести пыли) [48, 25]. Данные по оценке аэрируемости пыли см. в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Характеристики пыли, возникающей при механической обработке древесины

Порода древесины	Классы		
	аркообразования	сыпучести	аэрируемости
сосна	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4
пихта	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4
лиственница	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4
береза	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4
дуб	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4
ясень	слабое - 2	хорошая - 3	большая - 4

Итак, пыль характеризуется довольно хорошей сыпучестью, весьма слабым аркообразованием и значительной аэрируемостью.

Смачиваемость древесной пыли зависит от породы древесины. Самыми лучшими показателями смачиваемости обладает пыль ясеня и красного дерева. Смачиваемость древесной пыли можно оценить по величине угла смачиваемости[48]

$$\cos \Theta = \sigma_{\text{ТГ}} - \sigma_{\text{ЖГ}} / \sigma_{\text{ЖТ}}, \quad (3.10)$$

где $\sigma_{\text{ТГ}}$ — поверхностное натяжение на границе твердое тело – газ;

$\sigma_{\text{ЖГ}}$ — поверхностное натяжение на границе жидкость – газ;

$\sigma_{\text{ЖТ}}$ — поверхностное натяжение на границе жидкость – твердое тело.

Усредненная величина угла смачивания для частиц диаметром менее 200 мкм для всех пород древесины равна $0,92 \pm 0,04$, что определяет древесную пыль как гидрофильную.

Так же, как и другие аэрозоли, частицы древесной пыли непрерывно и самопроизвольно коагулируют. При увеличении концентрации пыли скорость коагуляции значительно увеличивается. Так, для частиц вяза при концентрации 10^5 частиц/см³ время, в течение которого число частиц уменьшается вдвое, составляет 5 секунд, при концентрации 10^3 частиц/см³ – 1,5 ч.

3.3 Исследование аэродинамических характеристик древесной пыли

В качестве объекта исследования была взята древесная пыль, образующаяся в процессе шлифования. Для точности результатов отобранная проба была просушена, после чего разделена на равные части по 50 мг. Перед проведением эксперимента пробы наносились на чистый лист бумаги и равномерно по нему распределялись. Для проведения большого количества серий исследований, в качестве прибора был выбран воздушный седиментометр, проиллюстрированный на рисунке 3.9. Распыление пыли происходит резким воздушным толчком, облако пыли попадает в верхнюю часть цилиндра (после чего верхнюю часть цилиндра накрывают крышкой), и под действием сил тяжести частицы с различной скоростью оседают на липкую ленту, уложенную на ленточный транспортер. Липкая лента рывками перемещается в равные промежутки времени. Были проведены экспериментальные исследования по 10 серий через интервалы оседания 1 с и 2 с [48].

По полученным данным установлено, что на первых секундах оседает крупнодисперсная пыль диаметром более 20 мкм. Скорость оседания частиц древесной пыли приведена в таблице 3.5.

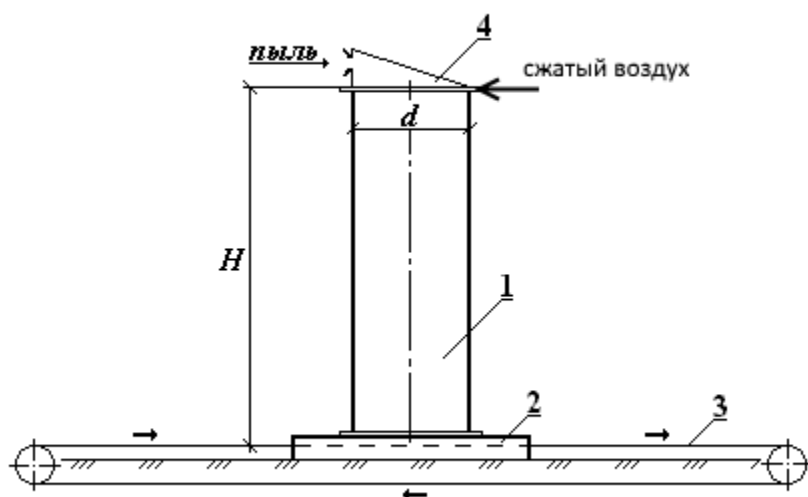


Рисунок 3.9 - Экспериментальная установка.

1 – седиментационный цилиндр высотой $H=2200$ мм и диаметром $d=175$ мм; 2 – подставка; 3 – ленточный транспортер; 4 – распыливающее устройство

Таблица 3.5 - Скорость оседания частиц древесной пыли

Время оседания, с	Скорость оседания v , м/с	Время оседания, с	Скорость оседания v , м/с
2	$v > 1,1$	8	$0,27 < v < 36$
4	$0,55 < v < 1,1$	10	$0,22 < v < 0,27$
6	$0,36 < v < 5,5$	12	$0,1 < v < 0,22$
		30	$0,02 < v < 0,1$

На основе полученных данных для древесной пыли, образующейся в процессе шлифования, выявлена графическая зависимость, скорости оседания частиц древесной пыли от среднего эквивалентного диаметра (рис. 3.11).

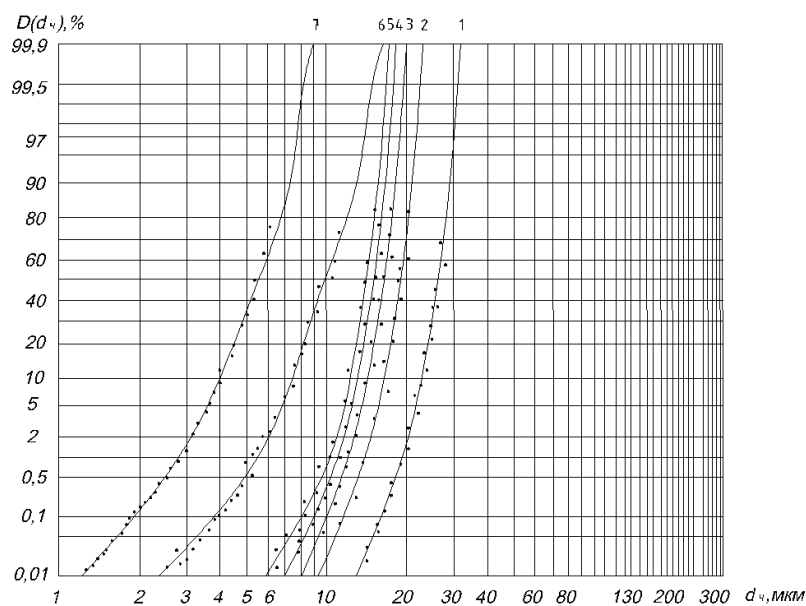


Рисунок 3.10 – Интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам древесной пыли, осевшей в седиментационной трубе.

1 – через 2 с; 2 – через 4 с; 3 – через 6 с; 4 – через 8 с; 5 – через 10 с;
6 – через 12 с, 7 – через 30 с

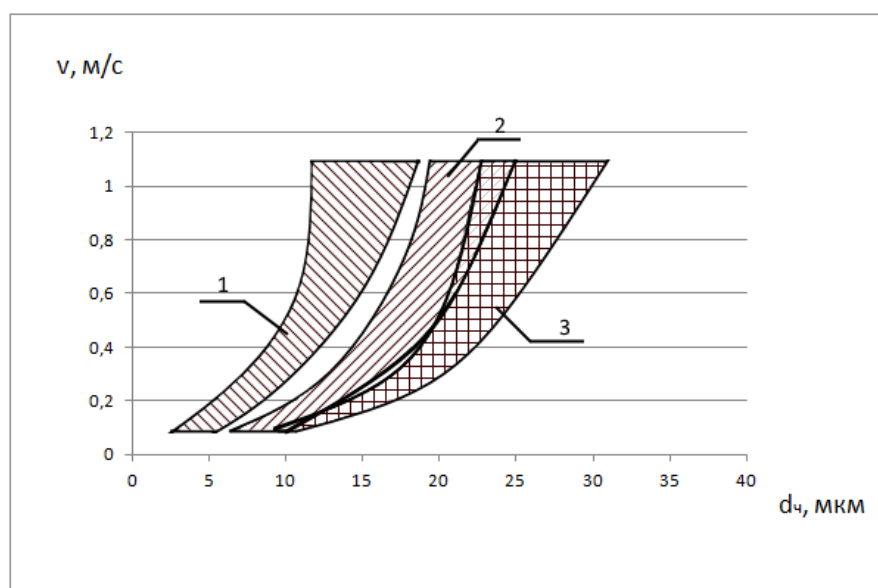


Рисунок 3.11 – Границы изменений зависимостей, характеризующих скорость оседания частиц древесной пыли.

1 – минимальные эквивалентные диаметры (0,5%); 2 – медианные эквивалентные диаметры (50%); 3 – максимальные эквивалентные диаметры (99,5%).

Вывод: при максимальной скорости 1,1 м/с частицы имеют диаметр от 11 до 28 мкм, а при минимальной скорости оседания равной 0,1 м/с частицы имеют диаметр от 1,1 мкм до 9 мкм.

Определение геометрического коэффициента формы частиц и среднего эквивалентного диаметра частиц $d_{\text{эср}}$ выполнялось с помощью компьютерной программы *DUST* [82]. Для определения среднего геометрического коэффициента формы частиц [38] программа выполняет следующие операции:

- определение реальной площади частиц;
- определение наибольшего диаметра частиц;
- подбор частиц в форме эллипса с осью «а», соответствующей наибольшему диаметру частиц с площадью, равной площади частицы;
- определение величины оси «в» эллипса;
- расчет коэффициента геометрической формы частиц, как отношение оси «в» к оси «а»;
- расчет среднего коэффициента геометрической формы частиц с данным эквивалентным диаметром.

В таблице 3.6 представлены полученные значения $d_{\text{эср}}$ и Φ_r с учетом скорости оседания частиц древесной пыли в седиментационной трубе.

Таблица 3.6 - Значения коэффициента формы частиц и среднего эквивалентного диаметра частиц

Скорость оседания частиц, м/с	$d_{\text{эср}}$	Φ_r
более 1,1	31,45	0,45
от 0,55 до 1,1	21,1	0,49
от 0,36 до 0,55	17,3	0,53
от 0,27 до 0,36	11,0	0,57
от 0,22 до 0,27	8,20	0,61
от 0,1 до 0,22	7,84	0,66
от 0,02 до 0,1	3,2	0,71

По полученным данным была построена зависимость среднего эквивалентного диаметра частицы $d_{\text{эсп}}$ от среднего геометрического коэффициента формы Φ_r (рисунок 3.12). Результаты экспериментов показывают, что скорость оседания частиц уменьшается при уменьшении эквивалентного диаметра и увеличении геометрического коэффициента формы частиц, т.е. степени округления частиц. Анализ зависимости показал, что крупные частицы имеют иглообразную форму с заметными изломами и разветвлениями, а средний геометрический коэффициент находится в пределах 0,45-0,66.

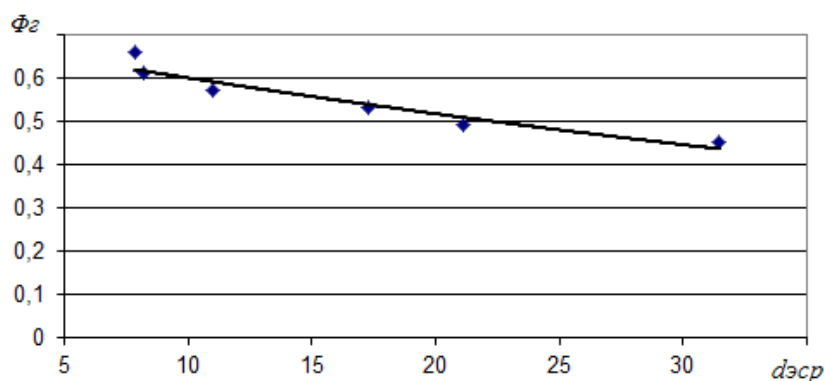


Рисунок 3.12 – Зависимость среднего геометрического коэффициента формы частиц от среднего эквивалентного диаметра

Уравнение связи между средним геометрическим коэффициентом формы частиц и средним эквивалентным диаметром (рис. 3.12) имеет вид:

$$\Phi_r = 0,67 - 0,007d_{\text{эсп}}. \quad (3.10)$$

На основе полученных ранее данных о среднем эквивалентном диаметре и среднего геометрического коэффициента формы частиц для каждой скорости оседания, были построены графики зависимости скорости оседания частиц древесной пыли от этих показателей (рис. 3.13, 3.14).

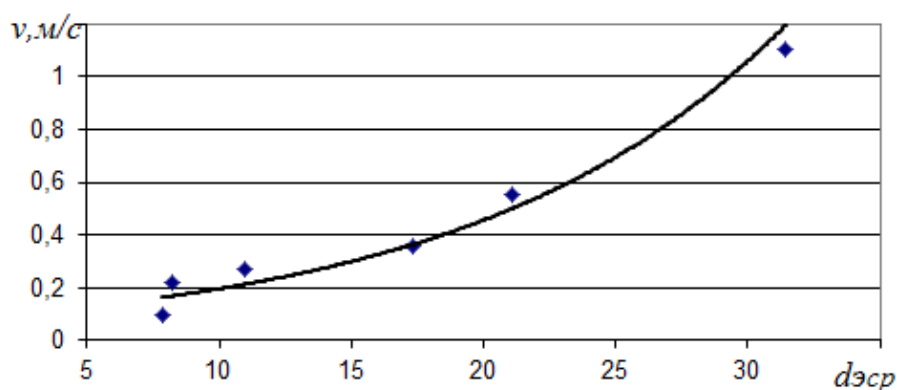


Рисунок 3.13 – Зависимость скорости оседания частиц древесной пыли от среднего эквивалентного диаметра

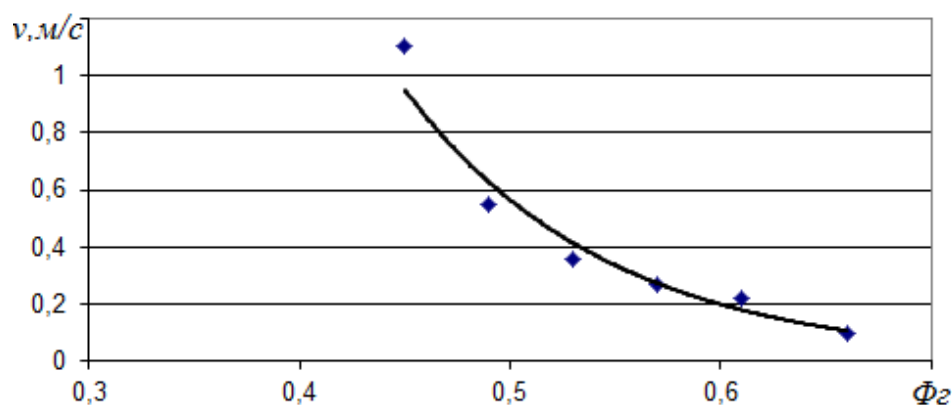


Рисунок 3.14 – Зависимость скорости оседания частиц древесной пыли от среднего геометрического коэффициента формы

3.4 Использование метода рассеечения при анализе дисперсного состава пыли

Для анализа полученных результатов дисперсного состава предлагается использовать метод «рассечения», предложенный Азаровым В.Н. [2, 3, 60], согласно которому рассматривают отдельно мелкие и крупные фракции, т.е. интегральную функцию распределения массы частиц по диаметрам заменяем на две: одна интегральная кривая D_m – для мелких фракций, другая $D_{кр}$ – для крупных фракций.

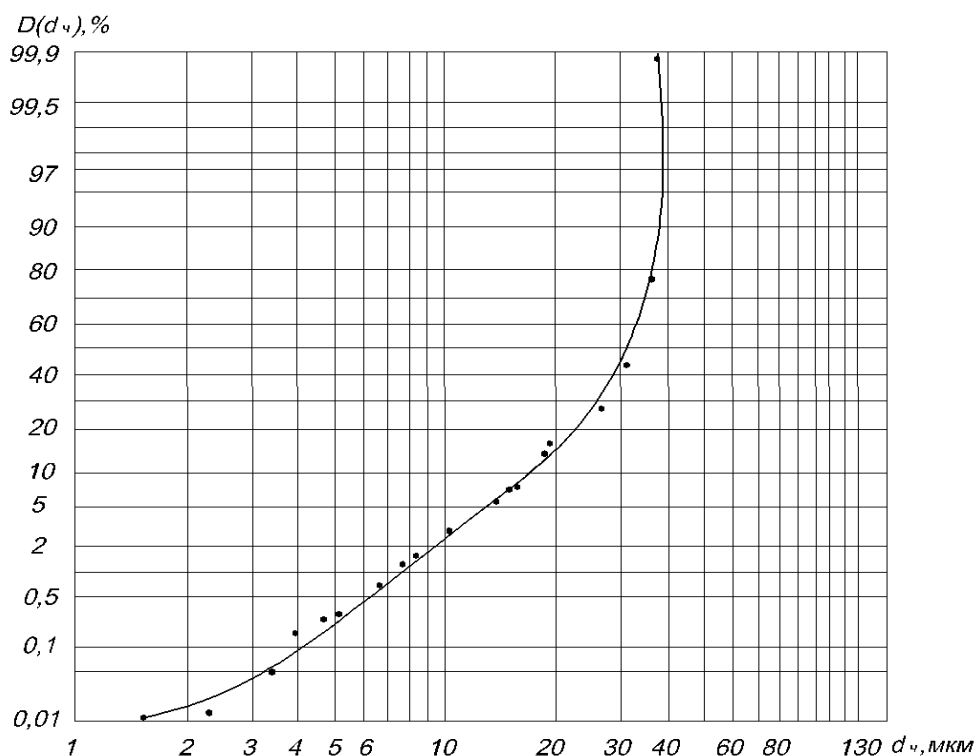


Рисунок 3.15 – Интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для древесной пыли

Для проведения анализа проведём рассечение по диаметру 11 мкм. Значение 11 мкм выбрано исходя из соображений удобства проведения расчёта и точного отображения полученных результатов.

Затем построим интегральные функции распределения массы частиц отдельно для пыли до 11 мкм и пыли более 11 мкм. Проведём это «рассечение» для кривой (рис.3.15) и представим полученные значения интегральных функций распределения на рис. 3.16. Результаты расчетов сведём в таблицу 3.7.

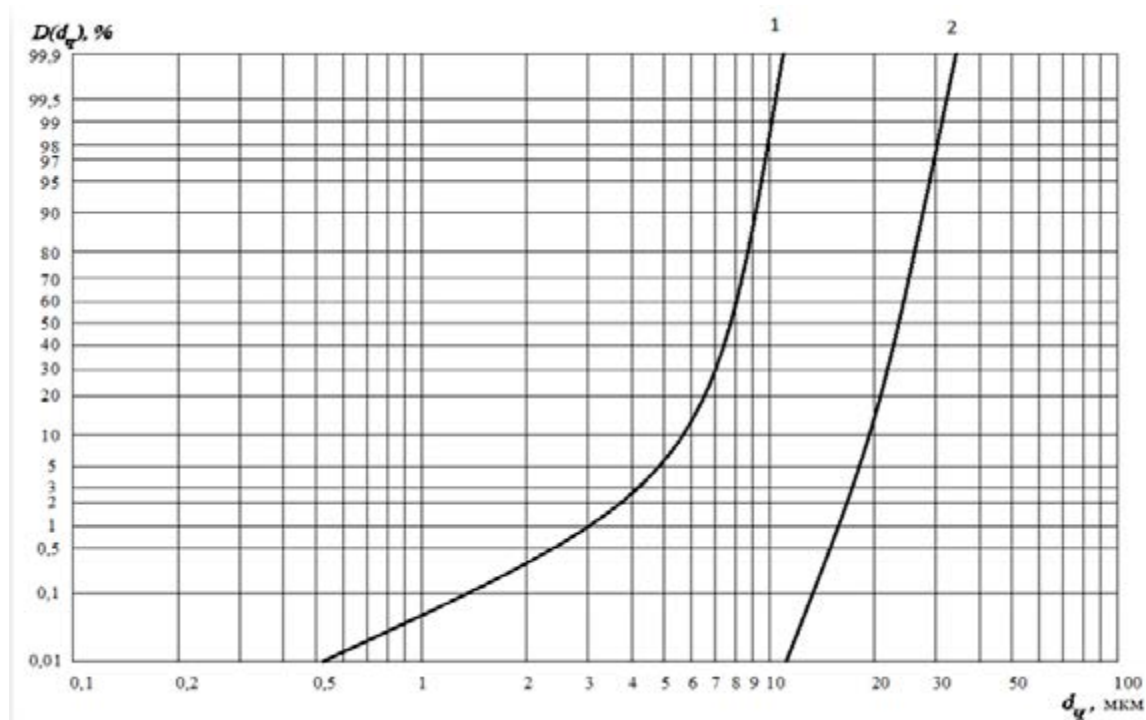


Рисунок 3.16 - Интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для древесной пыли после проведения метода «рассечения»: 1 - для мелких частиц (менее 11 мкм); 2 - для крупных частиц (11-34 мкм).

Таблица 3.7- Процентное содержание частиц (общая, отдельно по мелкой и крупной фракции)

d, мкм	D, %	D, % мелк	D, % крупн
до рассечения		после рассечения	
1,58	0,005	0,09	
2,163	0,016	0,30	
3,16	0,061	1,14	
3,87	0,168	3,15	
4,468	0,263	4,93	
5,089	0,334	6,27	
6,49	0,72	13,51	
7,597	1,367	25,65	
8,094	1,655	31,05	
10,116	2,903	54,46	

Продолжение таблицы 3.7

рассечение по 11 мкм			
11,087	5,436		0,11
12,186	7,309		2,09
13,075	8,521		3,37
18,525	13,382		8,51
19,236	17,239		12,58
26,258	27,051		22,94
30,649	42,654		39,43
33,256	78,338		77,12
34,191	100		100,0

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что доля пыли мелких фракций размером менее 3 мкм не превышает 3%, поэтому предпочтителен выбор пылеуловителя, у которого теоретически рассчитанный $d_{\text{критич}}$ (диаметр частиц, которые полностью улавливаются) обеспечивается не менее 97%. Более точно необходимо учитывать эффективность пылеуловителя на частицах пыли мелких фракций. В данном случае эффективность улавливания пыли, которая описывается в «левой» части (рис. 3.16), имеет параметры $D_{50} - 7,8$ мкм.

Например, для аппарата ВЗП-200 с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода степень проскока составила 11% для частиц пыли мелких фракций. Следовательно, проскок мелкой пыли в общей пыли равен $0,03 \cdot 0,11 = 0,33\%$. Задача повышения эффективности для данной пыли сводится к повышению надежности улавливания пыли, размер частиц которой имеет диаметр более 11 мкм. К сожалению, теоретические расчеты $d_{\text{критич}}$ для циклонов и других инерционных аппаратов зачастую не соответствуют многочисленным опытам и экспериментальным данным. Причиной этого является «эффект проскока крупных частиц» для пылеуловителей малого диаметра, что, например, показано в работах В.Н. Азарова, Д.В. Луканина [3, 58].

Поэтому при реконструкции организации отсоса из циклона важно учитывать этот эффект при очистке воздуха, поступающего в небольшой пылеуловитель.

3.5. Анализ дисперсного состава пыли при основных процессах обработки строительных материалов из древесины

Анализ дисперсного состава пыли при основных процессах обработки строительных материалов из древесины показал, что интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для древесной пыли позволяет уточнить результаты ряда других исследователей [57, 104]. Проведенные исследования дисперсного состава позволили построить диапазоны изменения дисперсного состава пыли, для чего были построены верхние и нижние огибающие.

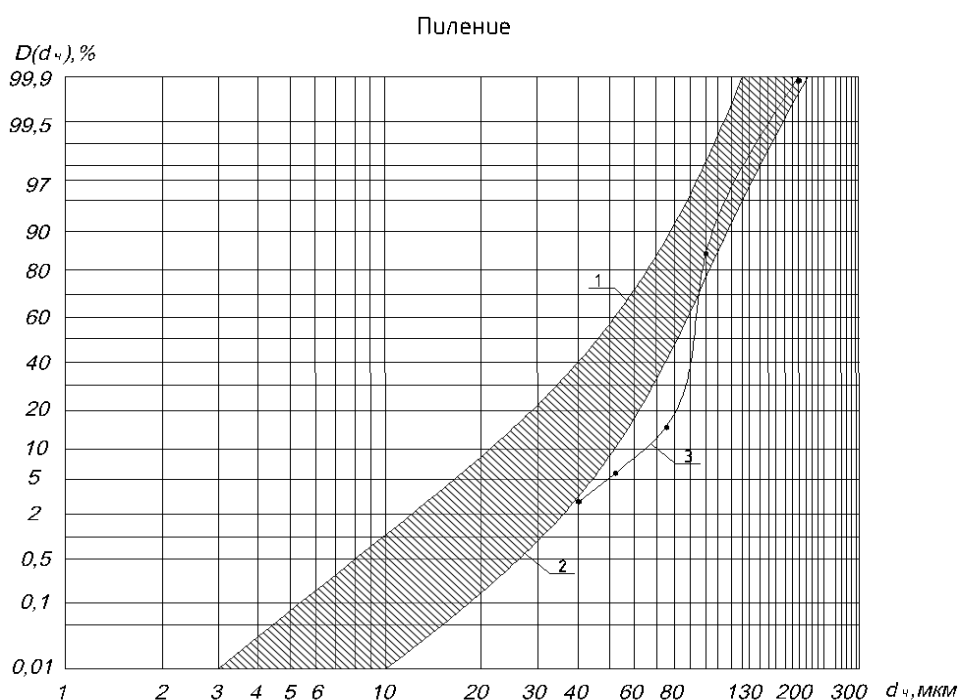


Рисунок 3.17 - Диапазоны изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах пиления: 1- верхняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 2 - нижняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 3 – экспериментальные значения согласно данным Лапкаева А.Г. [57]

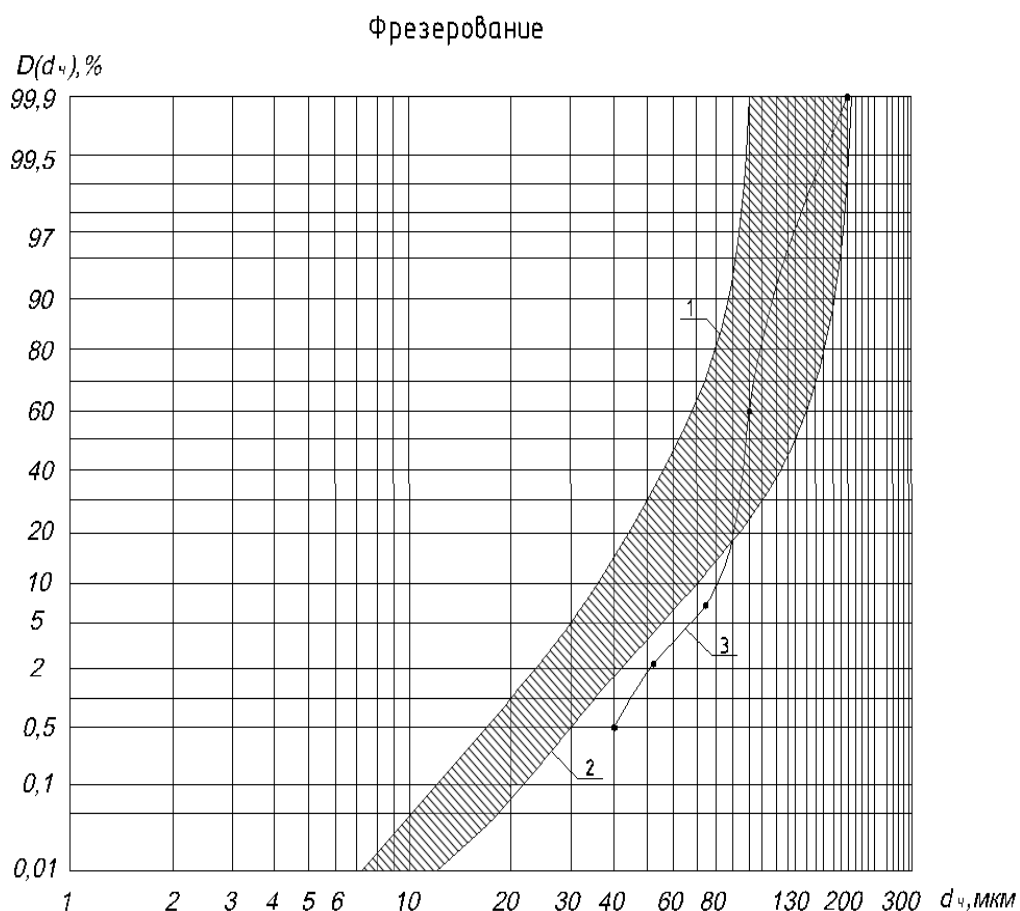


Рисунок 3.18 - Диапазоны изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах фрезерования: 1- верхняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 2 - нижняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 3 – экспериментальные значения согласно данным Лапкаева А.Г. (таблица 1.2) [57]

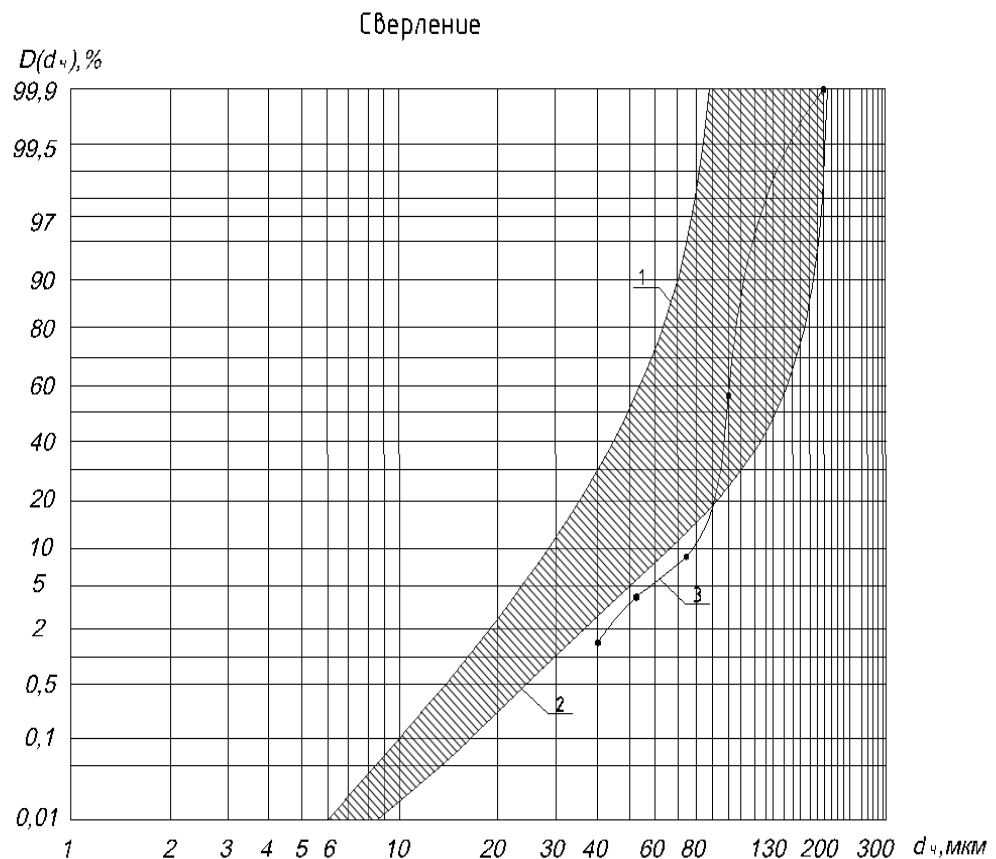


Рисунок 3.19 - Диапазоны изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах сверления: 1- верхняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 2 - нижняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 3 – экспериментальные значения согласно данным Лапкаева А.Г. (таблица 1.2) [57]

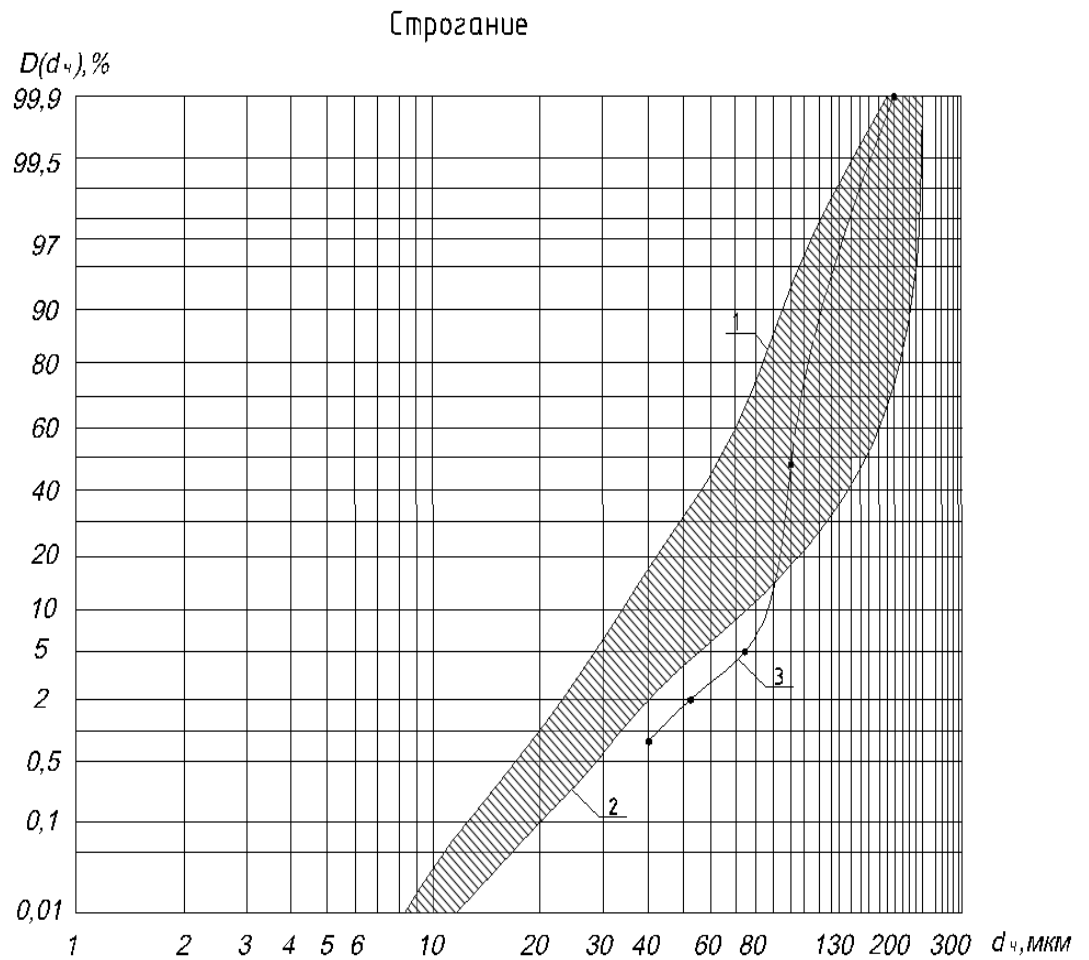


Рисунок 3.20 - Диапазоны изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах строгания: 1- верхняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 2 - нижняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 3 – экспериментальные значения согласно данным Лапкаева А.Г. (таблица 1.2) [57]

Шлифование

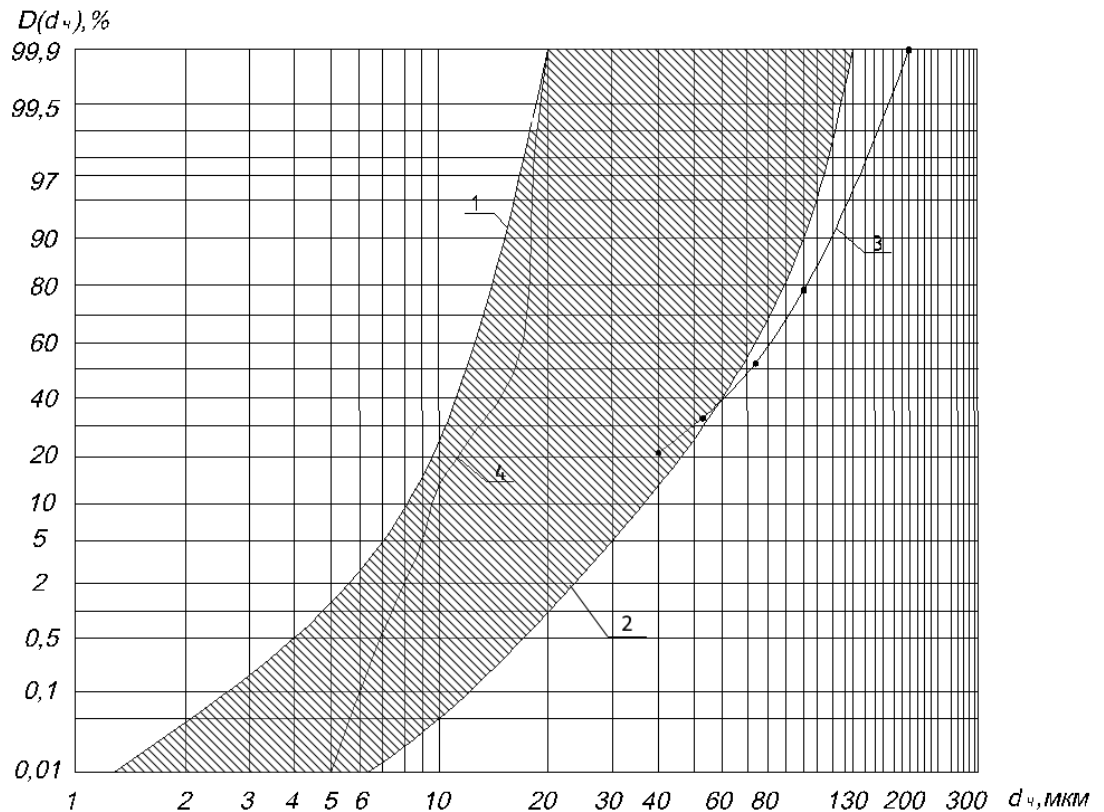


Рисунок 3.21 - Диапазоны изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах шлифования: 1- верхняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 2 - нижняя огибающая диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора; 3 – экспериментальные значения согласно данным Лапкаева А.Г. (таблица 1.2) [57]; 4 – экспериментальные значения согласно данным Экбы С.И. [104]

Для оценки экспериментальных данных использовался метод оценивания Левенберга-Маркара на уровне надежности 95%. Ниже представлены в декартовой системе координат верхние и нижние огибающие диапазонов изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах пиления, фрезерования, сверления, строгания и шлифования.

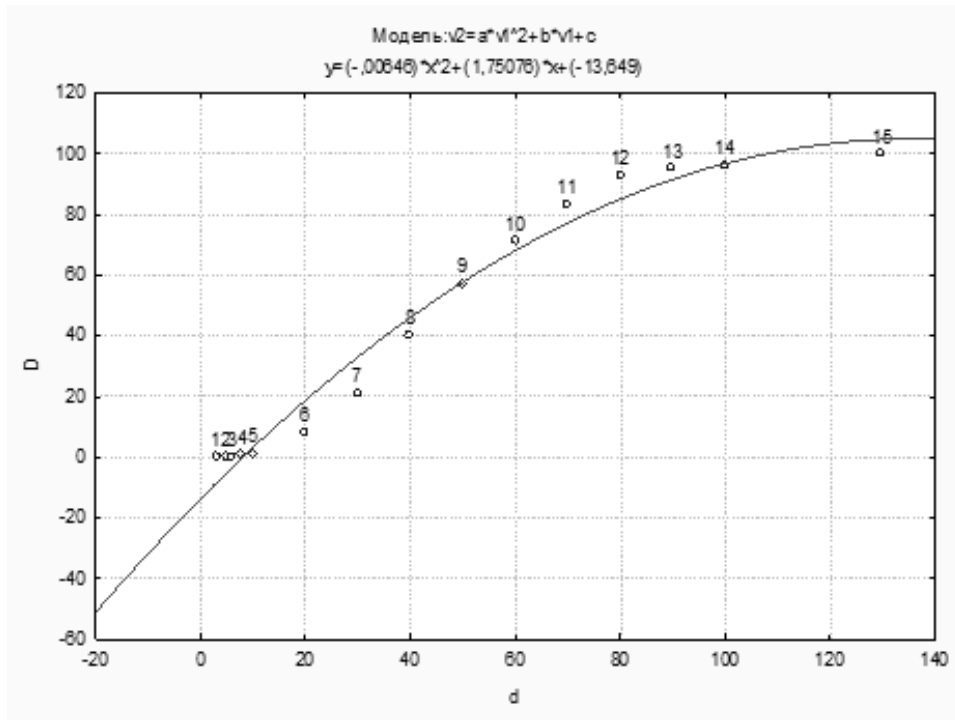


Рисунок 3.22 - верхняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах пиления.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,988$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,0065d^2 + 1,175d + 13,649$$

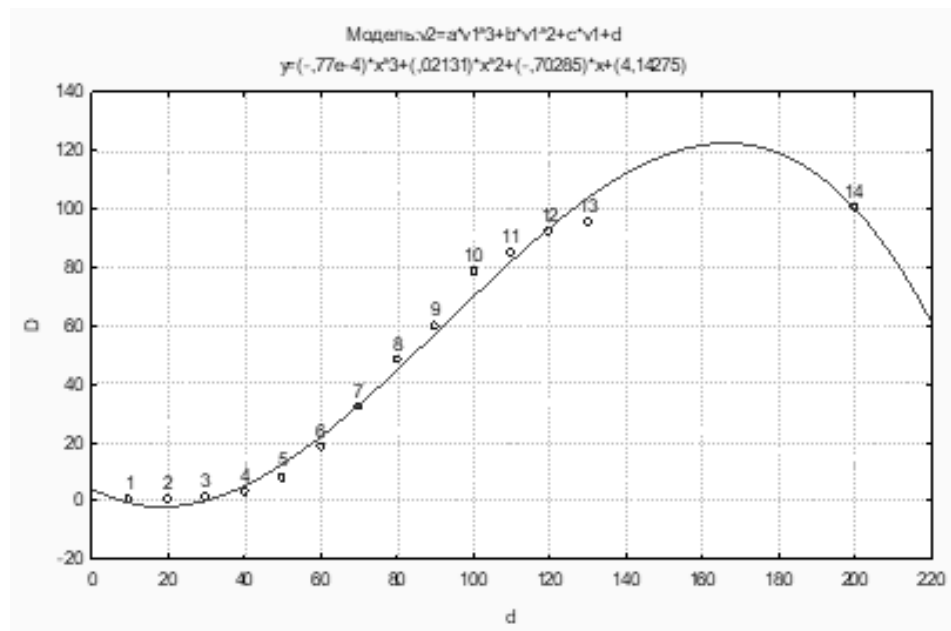


Рисунок 3.23 - нижняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах пиления.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,00008d^3 + 0,0213d^2 - 0,703d + 4,143$$

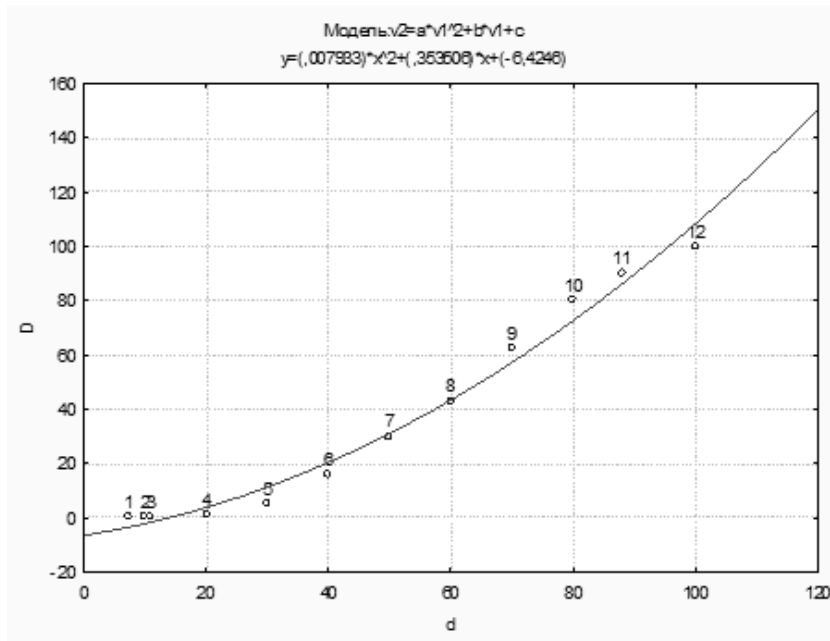


Рисунок 3.24 - верхняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах фрезерования.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = 0,0079d^2 + 0,3535d - 6,4246$$

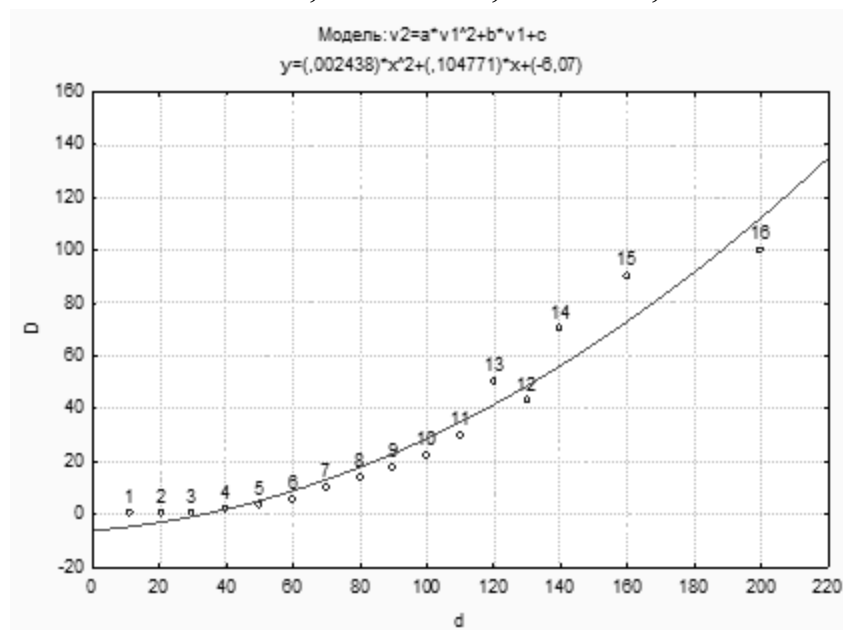


Рисунок 3.25 - нижняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах фрезерования

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,97$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = 0,00244d^2 + 0,10477d - 6,07004$$

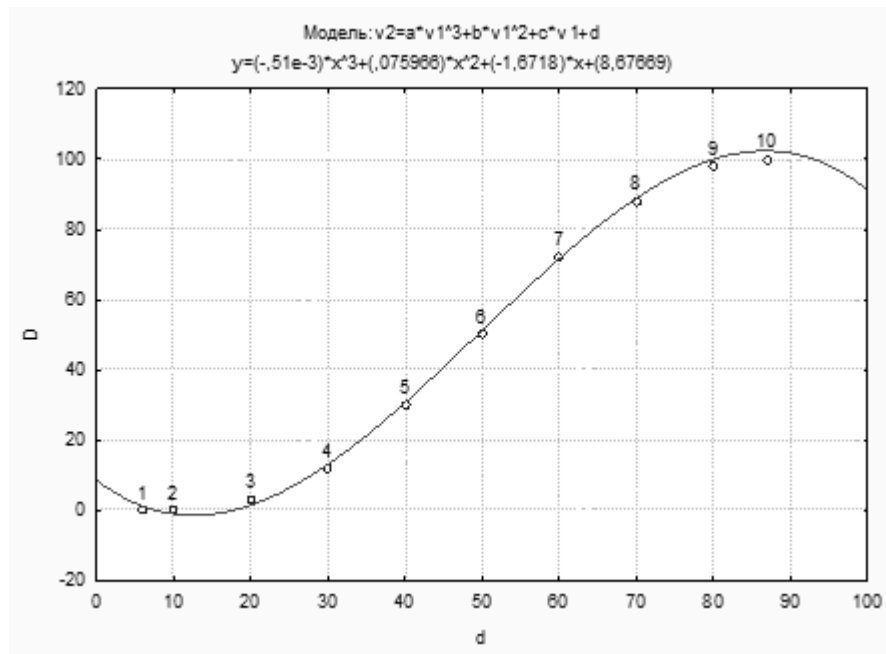


Рисунок 3.26 - верхняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах сверления.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$. Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,000518d^3 + 0,07597d^2 - 1,67176d + 8,67669$$

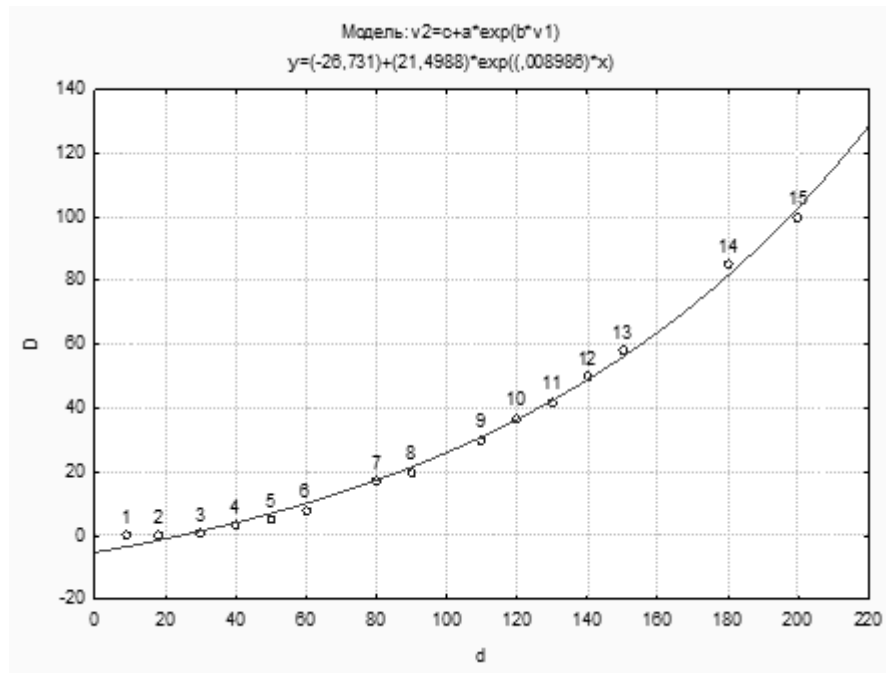


Рисунок 3.27 - нижняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах сверления.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,98$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -26,73 + 21,5 \cdot e^{0,01d}$$

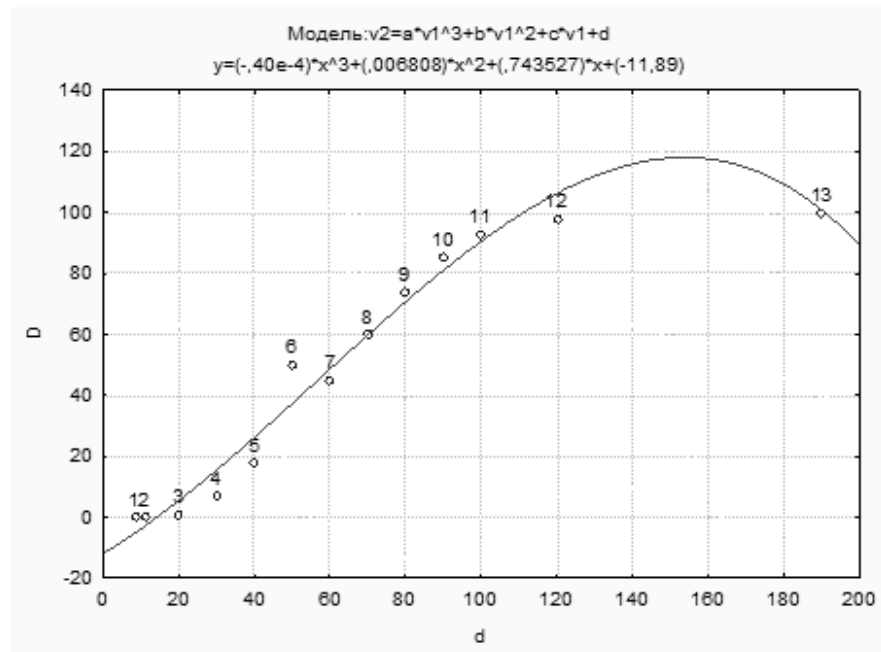


Рисунок 3.28. - верхняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах строгания.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,0004d^3 + 0,00681d^2 + 0,74353d - 11,89$$

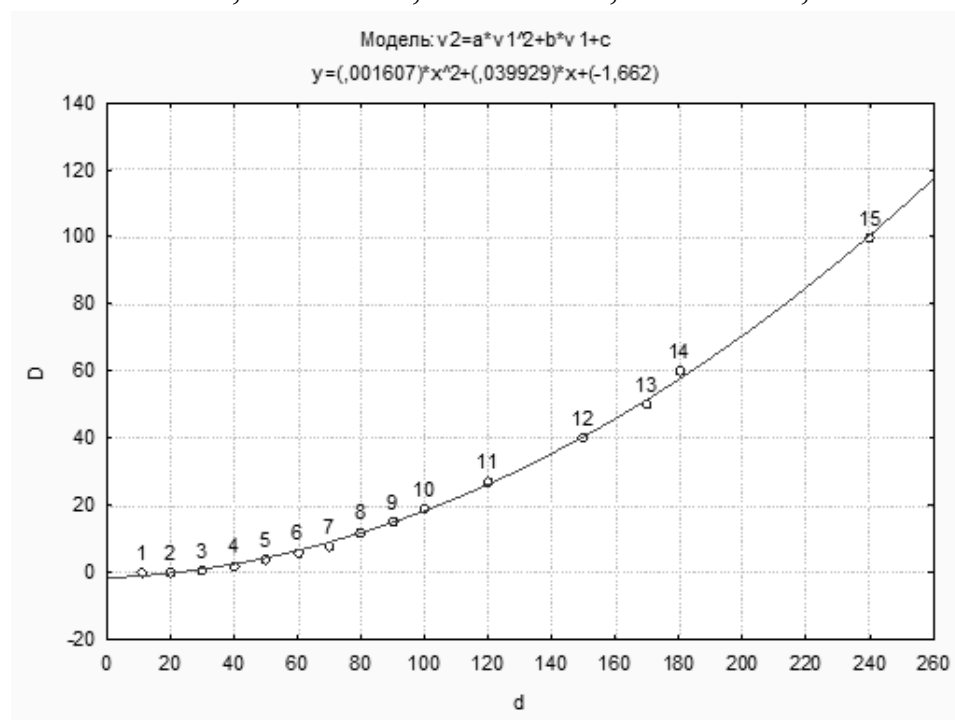


Рисунок 3.29 - нижняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах строгания.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = 0,00161d^2 + 0,0399d - 1,662$$

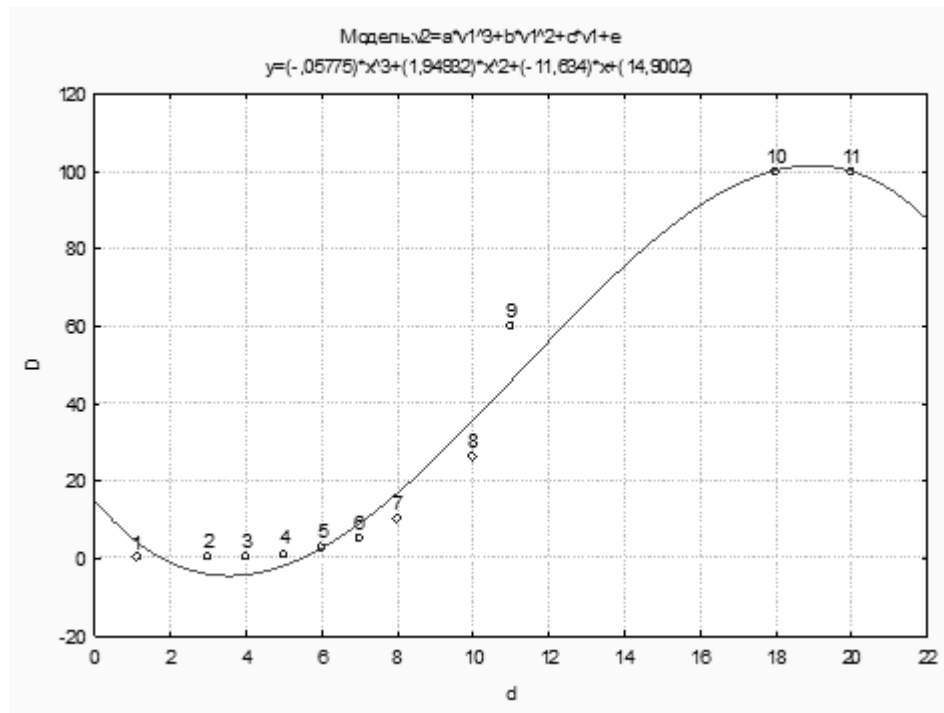


Рисунок 3.30 - Верхняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах шлифования.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,98$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,0577d^3 + 1,949d^2 - 11,6344d + 14,9$$

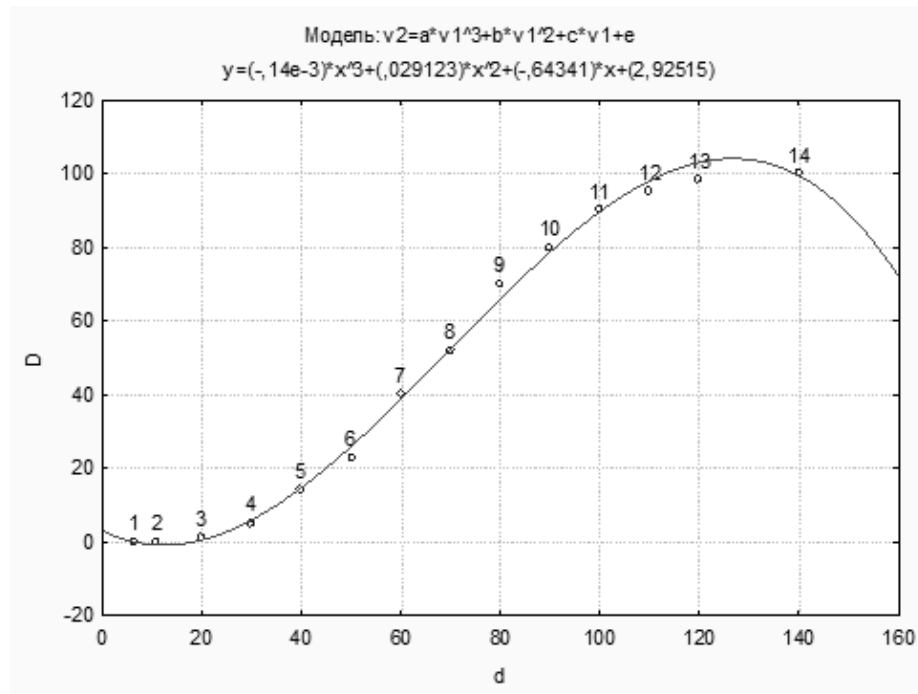


Рисунок 3.31 - нижняя огибающая диапазона изменения дисперсного состава древесной пыли при процессах шлифования.

Коэффициент корреляции для подобранной модели $R = 0,99$.

Функция зависимости имеет вид:

$$D = -0,000141d^3 + 0,029123d^2 - 0,64341d + 2,925$$

По полученным экспериментальным данным были построены также интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам (рис. 3.32).

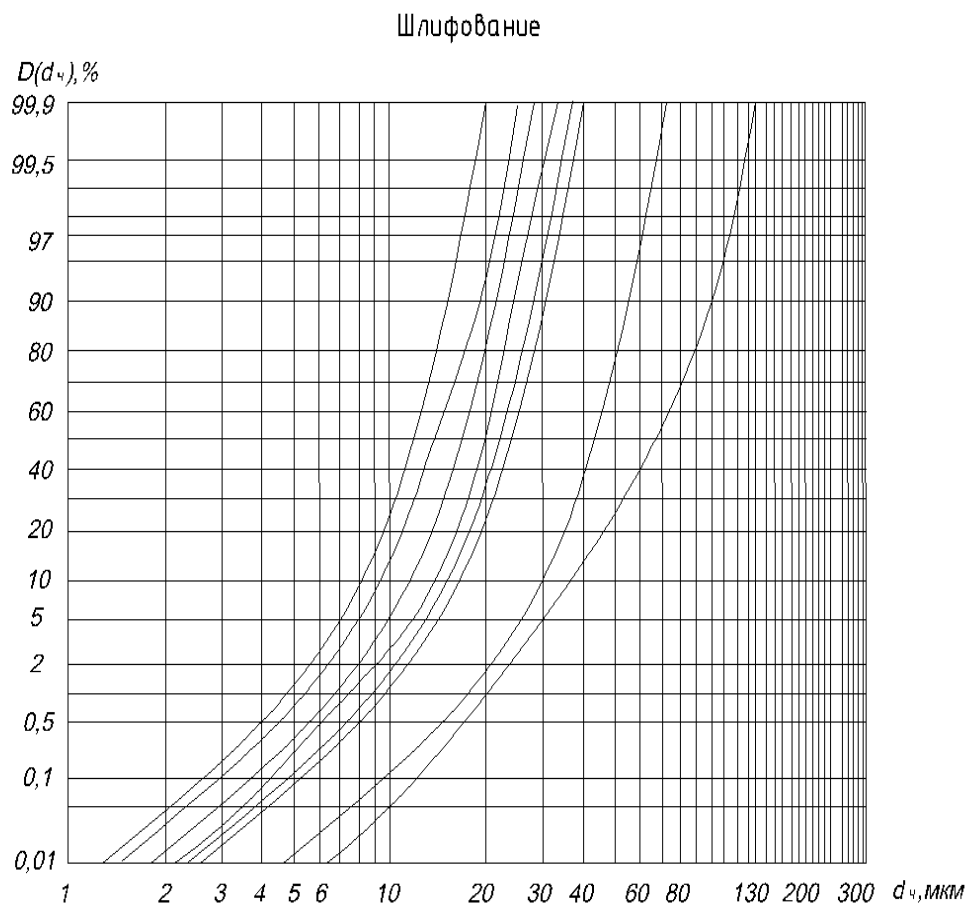


Рисунок 3.32 - Интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора при процессах шлифования.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод о том, что при процессах шлифования наблюдается наибольший разброс данных, т.е. присутствуют частицы пыли как мелких, так и крупных фракций. При выборе средств борьбы с запыленностью, средств коллективной защиты и выборе систем аспирации следует ориентироваться на верхние огибающие.

3.6. Исследование дисперсного состава пыли при процессах шлифования

Как отмечалось в ряде исследований [56] наиболее тонкодисперсная пыль получается при шлифовании. Например, при этой операции частиц пыли с размерами 100-63 мкм, 63-50 и менее 50 мкм, соответственно, составляет 17,16%, 11,8% и 31% или всего 59,96% от всей массы навески [57]. Так как шлифование заготовок дает максимальное количество пыли, то ее дисперсный состав пыли характеризуется следующим образом. Например, по данным [57], у пыли дуба, в зависимости от номера шлифовальной шкурки, количество частиц с размерами 100-63, 63 - 50 и менее 50 мкм составляет в пределах 81,70 - 93,4%.

Лапкаев А.Г. выяснил, что, чем меньше номер шкурки, тем тоньше пыль, получаемая при обработке заготовок. Например, по результатам исследований дисперсного состава пыли, проведенных автором, при шлифовании деталей шкуркой № 8 частиц пыли с размером менее 50 мкм содержится 68-79%, тогда как при шлифовании шкурками № 25 и 32, соответственно, 50-55% и 46-52%. В работе Лапкаева А.Г. [57] прослеживается такая же закономерность в дисперсном составе и других видов древесной пыли, что подтверждает адекватность экспериментов и выводы об опасности каждого вида древесной пыли.

При этом в экспериментах подтвердилось, что дисперсный состав пыли всех пород деревьев зависит от номера шкурки в направлении крупности ее зерен. Чем меньше номер шкурки, тем мельче пыль, получаемая при обработке заготовок. Масса частиц пыли с размером менее 50 мкм всегда более, чем масса частиц более 50 мкм.

Данные экспериментов, проведенных автором, также показывают, что масса частиц с размером менее 45 мкм преобладают в каждой пыли. Но с гигиенической точки зрения опасность для заболевания пневмокониозом

представляют пылинки с размером менее 15 мкм, количество которых резко меняется по породам дерева. Например, пыль красного дерева таких частиц содержит 58,8%, а пыль березы - 37,5%. Наименьшее количество их у пыли березы (37,5%), а наибольшее - у пыли ясеня (65,8%). У пыли лиственницы их менее (42%), чем у пыли сосны (52,4%).

По результатам исследований были построены интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам для пыли различных пород дерева, образующейся при шлифовании разными шкурками (рис. 3.33-3.35).

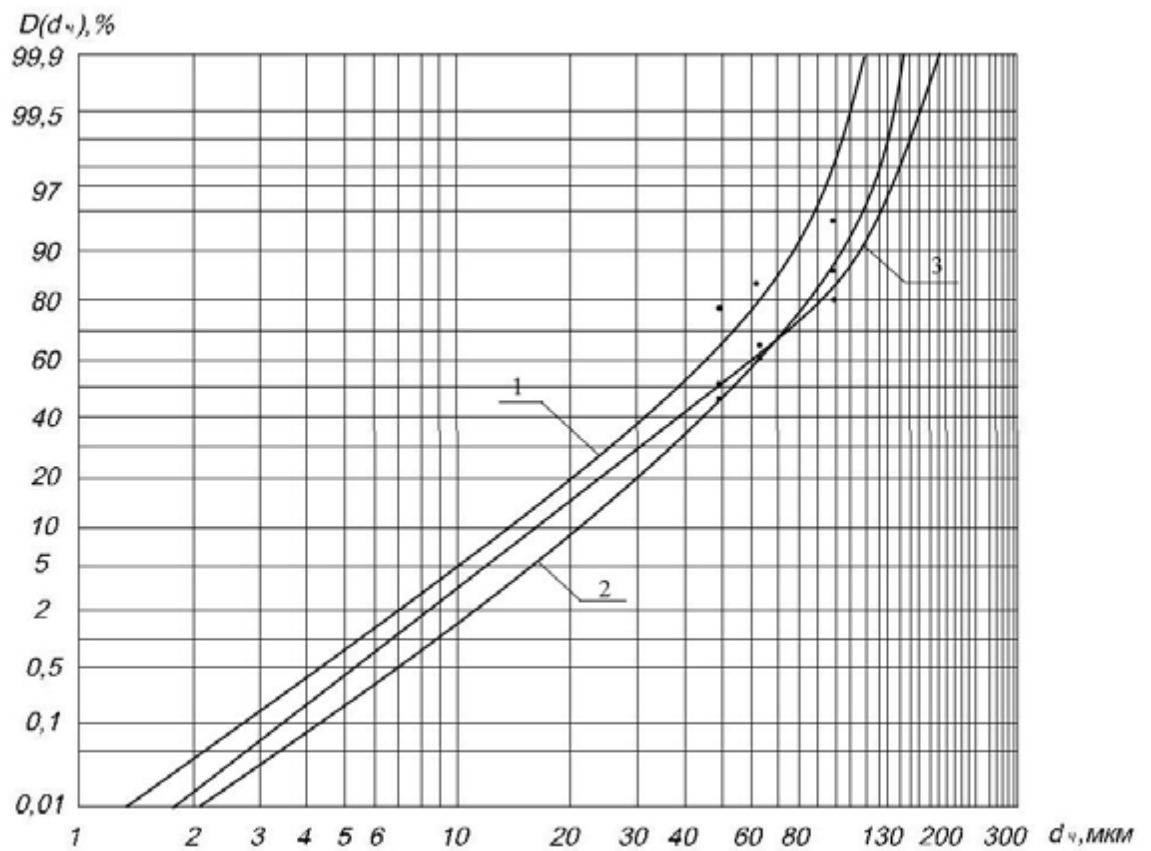


Рисунок 3.33 - интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора при процессах шлифования разными шкурками (дуб): 1 – шкурка №8, 2 – шкурка №25, 3 – шкурка №32.

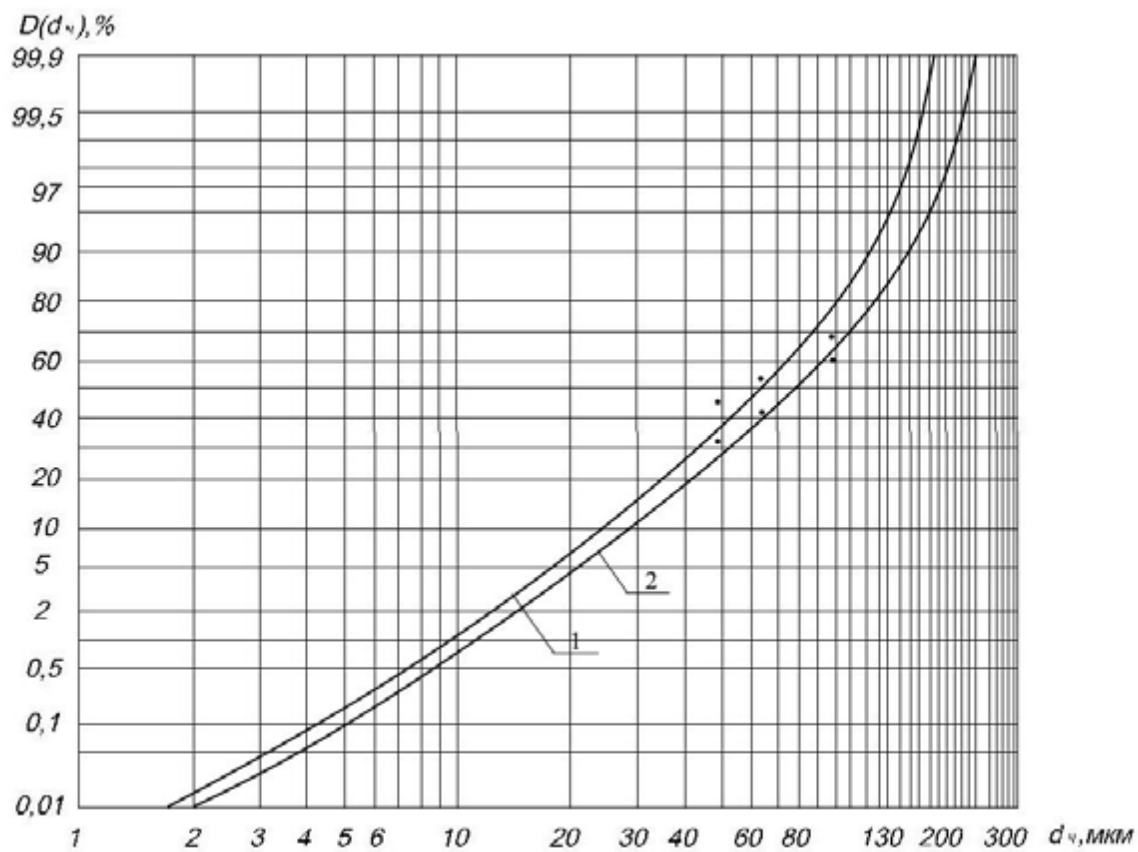


Рисунок 3.34 - интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора при процессах шлифования разными шкурками (сосна): 1 – шкурка №8, 2 – шкурка №25.

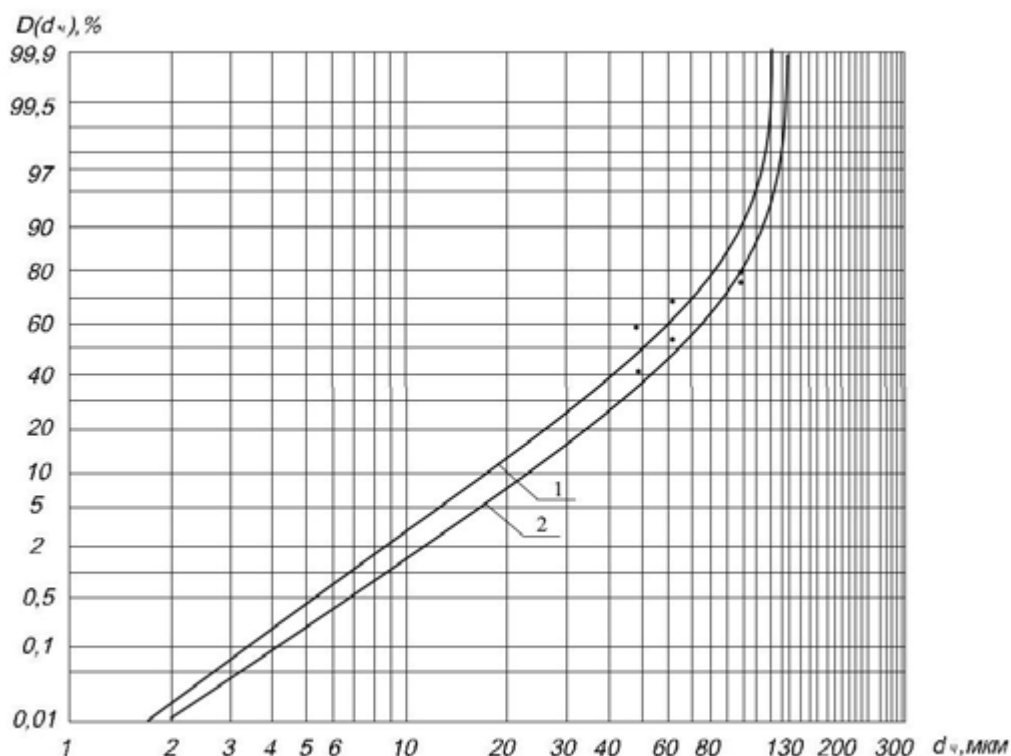


Рисунок 3.35 - Интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам по экспериментальным данным автора при процессах шлифования разными шкурками (береза): 1 – шкурка №8, 2 – шкурка №25

3.7 Оценка фракционного состава пыли при инвентаризации стационарных источников выбросов в производстве строительных изделий из древесины

В соответствии со ст. 22 Федерального закона от 04.05.1999 г. №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (в редакции от 29.12.2014 г.) «Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие хозяйственную и (или) иную деятельность с использованием стационарных источников, при осуществлении производственного экологического контроля в соответствии с установленными требованиями проводят инвентаризацию стационарных источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух». Основная цель инвентаризации – учет и выявление источников загрязнения атмосферного воздуха, а также установление

качественно-количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ (ЗВ).

В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности, включая производство строительных конструкций и изделий, встречаются разные виды поступающих в атмосферу твердых пылевидных отходов, для которых должны осуществляться учет, нормирование и регулирование [87, 107, 108]. Перечень технологических процессов и оборудования, используемых в производстве изделий из древесины, а также наименование, коды и нормативы качества атмосферного воздуха выделяющихся в этих производствах ЗВ приведены в методических указаниях по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности (на основе удельных показателей) (АО «НИИ Атмосфера», г. Санкт-Петербург, 2015 г.). Так, в цехах и на участках, производящих строительные изделия (оконные и дверные блоки, доски пола, плинтусы), при механической обработке древесины от циркулярных пил и станков (торцовочных, фуговальных, рейсмусовых, сверлильных, фрезерных, строгальных и т.д.) выделяется древесная пыль с кодом 2936 (Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух - АО «НИИ Атмосфера», г. Санкт-Петербург, 2015 г.). Причем образующаяся пыль характеризуется разнообразным фракционным составом, данные о котором со ссылкой на [14] приводятся в названных выше методических указаниях (таблица 1.2).

Нельзя не отметить, что в существующей в нашей стране практике учета, нормирования и контроля выброс пыли от различных источников рассматривается в целом, без разделения на фракционные составляющие, тогда как общеизвестно, что наибольшим негативным воздействием на окружающую природную среду и организм человека характеризуются пылевые частицы с размерами менее 10 мкм и 2,5 мкм. И в этой связи еще в 2010 г. в России введены гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ

населенных мест», которые устанавливают значения максимально разовой ПДК для названных взвешенных твердых частиц, равные $0,3 \text{ мг/м}^3$ и $0,16 \text{ мг/м}^3$ соответственно.

С этой точки зрения для обеспечения экологической безопасности производства строительных изделий из древесных материалов практический интерес представляет оценка фракционного состава пыли на выходе из установок обеспыливания выбросов. Такие исследования с использованием методики микроскопического анализа [11] проведены на предприятиях деревообработки в г. Волгограде и в г. Ростове-на-Дону. Некоторые из полученных результатов приведены на рис. 3.36.

Представленные графические зависимости свидетельствуют о следующем. Во-первых, фактический дисперсный состав пыли, содержащейся в воздушном потоке, поступающем в систему пылеочистки, характеризуется большим содержанием мелких фракций, в сравнении с данными, приведенными в таблице №1 (рис. 3.36, кривая 1). Во-вторых – в упомянутых выше методических указаниях говорится о том, что на предприятиях деревообработки запыленность воздуха на выходе в атмосферу не должна превышать $60\text{-}100 \text{ мг/м}^3$. В настоящее время такое значение концентрации пыли, как правило, не дает возможности достичь ПДК на границе СЗЗ. Если воспользоваться подходом, который позволяет оценивать концентрацию мелкодисперсных частиц в выбросе как долю, равную содержанию этих частиц в этом выбросе [57, 11- 13], то на основе данных, представленных на рис. 3.36 (кривая 2), получаем, что концентрация частиц с размерами менее 10 мкм в выбросе на выходе из циклона не должна превышать $21\text{-}35 \text{ мг/м}^3$, концентрация частиц с размерами менее $2,5 \text{ мкм}$ – $1,5\text{-}2,5 \text{ мг/м}^3$.

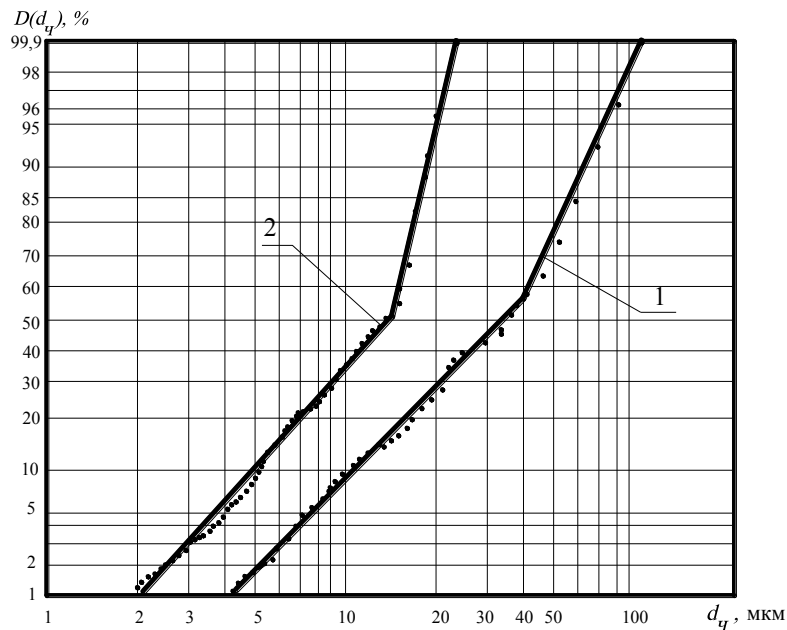


Рисунок 3.36 – Дисперсный состав древесной пыли в воздушном потоке: 1 – на входе в циклон Ц Гипродревпром; 2 – на выходе в атмосферу из циклона Ц Гипродревпром

С другой стороны, на формирование пылевых выбросов в атмосферный воздух на рассматриваемых предприятиях во многом оказывает влияние организация воздухообмена в производственных помещениях. По существующим нормам проектирования в цехах (на участках) механической обработки древесины применяются следующие решения [75, 31]: в холодный и переходный периоды – организованный приток с подачей воздуха в рабочую зону (либо непосредственно в рабочую зону, либо вертикальными струями с высоты до 4-х м от уровня пола) и удаление воздуха системами местных отсосов; в теплый период – неорганизованный приток через окна и ворота и удаление воздуха системами местных отсосов с дополнением (при необходимости) общеобменной вытяжной вентиляцией из верхней зоны цеха. Неуловленные пылевые частицы из производственных помещений выбрасывается в атмосферу системами общеобменной вытяжки или через открытые проемы. Поэтому был исследован фракционный состав пыли, содержащейся в воздухе рабочей зоны и в верхней зоне цеха. В качестве примера полученных результатов на рис. 3.37 приведены графические

зависимости, характеризующие дисперсный состав взвешенных частиц в воздушной среде цеха при обработке древесины на разных станках.

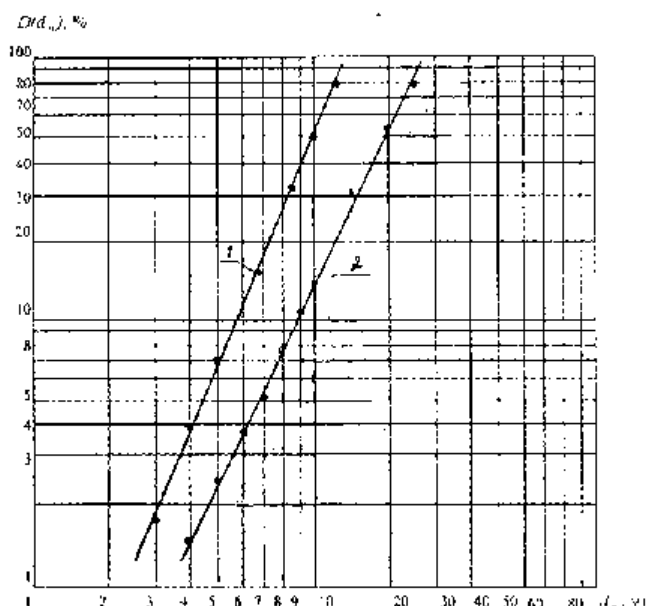


Рисунок 3.37 – Дисперсный состав пыли в воздухе рабочей зоны при обработке древесины на станках: 1 – круглопильном; 2 – фуговальном

Таким образом, полученные по результатам натурных исследований данные показали, что на предприятиях деревообработки основная масса взвешенных твердых частиц, как в организованных, так и в неорганизованных выбросах, приходится на мелкодисперсные пылевые частицы.

Выводы по третьей главе

1. В атмосферный воздух поступают частицы пыли, основная масса которых приходится на частицы с размерами менее 20 мкм. Причем в начале рабочего дня в атмосферном воздухе на территории промплощадки на долю частиц PM_{10} приходится 5-10%, в конце рабочего дня – 9-12%. Однако на границе санитарно-защитной зоны содержание мелкодисперсных частиц

возрастает и составляет: для частиц PM_{10} в начале рабочего дня 50%, в конце рабочего дня – 98%; для частиц $PM_{2,5}$ – 0,6% и 15% соответственно.

2. Исследования аэродинамических характеристик древесной пыли показали, что при максимальной скорости 1,1 м/с частицы имеют диаметр от 11 до 28 мкм, а при минимальной скорости оседания равной 0,1 м/с частицы имеют диаметр от 1,1 мкм до 9 мкм.

3. Метод рассеечения, примененный для анализа дисперсного состава пыли, дает возможность учитывать долю пыли мелких фракций при выборе оптимальной эффективности пылеуловителя.

4. Дисперсный анализ показал: при процессах шлифования наблюдается наибольший разброс данных, т.е. присутствуют частицы пыли как мелких, так и крупных фракций. При выборе средств борьбы с запыленностью, средств коллективной защиты, и выборе систем аспирации следует ориентироваться на верхние огибающие диапазона изменения интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В АППАРАТЕ ВЗП С ОБРАТНЫМ КОНУСОМ И КОНИЧЕСКИМ ЗАКРУЧИВАТЕЛЕМ ПОТОКА НИЖНЕГО ВВОДА

4.1 Описание схемы лабораторной установки

Экспериментальные исследования эффективности улавливания и степени проскока пыли вихревого инерционного пылеуловителя со встречными закрученными потоками с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода проводились на экспериментальной установке, представленной на рис. 4.1. Исследования проводились со шлифовальной древесной пылью. Экспериментальные данные сравнивались с результатами экспериментов, проведенных на аналогичных установках: стандартный аппарат ВЗП (рис.4.2), аппарат ВЗП с обратным конусом (рис. 4.3) и аппарат ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода (рис. 4.4) [17, 104].

Основной элемент установки — вихревой инерционный пылеуловитель со встречными закрученными потоками ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода, имеющий цилиндрический корпус диаметром 180 мм, выполненный из оргстекла. Высота и ширина верхнего ввода первичного потока, диаметр патрубка нижнего ввода вторичного потока, диаметр отбойной шайбы и т.д. взяты в соответствии с соотношением конструктивных параметров, характерных для аппаратов ВЗП [4, 21, 61]. Перед вихревым аппаратом 1 предусмотрен узел изготовления пылевоздушной смеси 2. Расход воздуха, поступающего в систему, регулируется шибером 3. Соотношение расходов пылевоздушной смеси в верхних и нижних вводах в аппарат регулируется шибером 4.

Для закручивания вторичного потока на нижнем вводе в пылеулавливающий аппарат установлен конический завихритель,

обеспечивающий устойчивую равномерную закрутку потока. Пылеуловитель 1 снабжен бункером для приема уловленной пыли. На воздуховодах первичного и вторичного потоков, очищенного газа для проведения замеров установлены штуцеры с завинчивающимися крышками.

Пылеуловитель работает следующим образом: очищаемый газ через верхний и нижний патрубки закручивается и поступает в корпус аппарата. Под действием инерционных сил происходит отделение пылевых частиц и их осаждение в пылевой бункер. Очищенный газ удаляется через осевой патрубок.

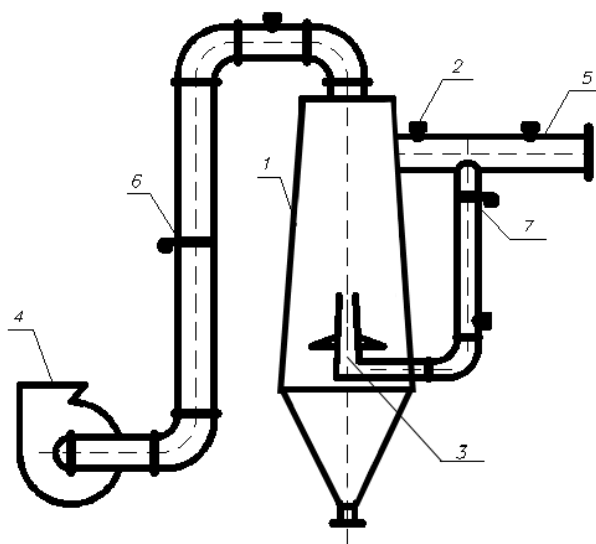


Рисунок 4.1 – Схема экспериментальной установки для исследования эффективности аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода: 1-корпус аппарата ВЗП-180; 2,5-штуцер для проведения замеров; 3- конический закручиватель потока нижнего ввода; 4-вентилятор; 6,7- шиберы

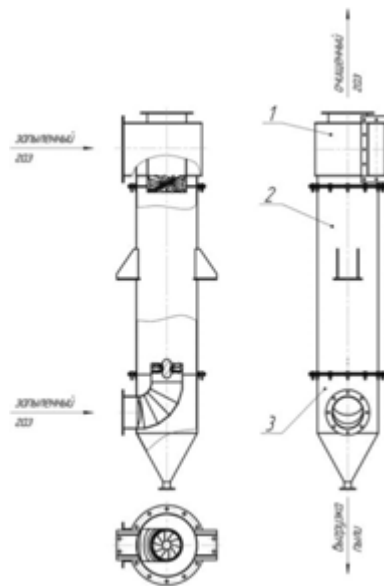


Рисунок 4.2 – Схема пылеуловителя ВЗП:

1 – сепарационная камера с тангенциальным входом запыленного потока и центральным патрубком для выхода очищенного потока; 2 – корпуса цилиндрический; 3 – сборник с аксиальным входом запыленного потока и коническим бункером с точкой для выгрузки пыли

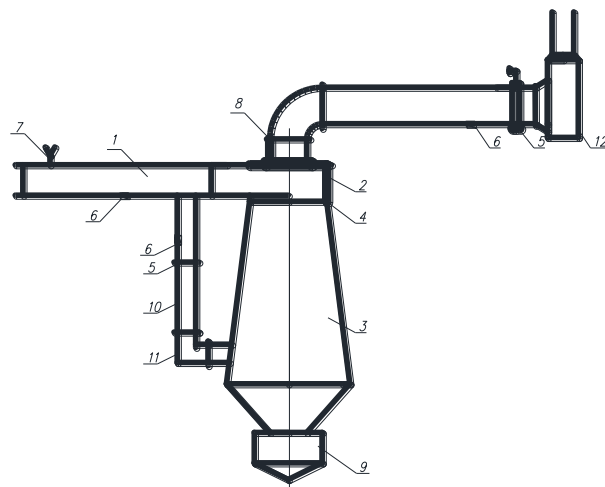


Рисунок 4.3 – Схема экспериментальной установки:

1 - входной воздуховод; 2 - верхний тангенциальный ввод; 3 - сепарационная камера; 4 - фланцевое соединение; 5 - регулировочный шибер; 6 - замерный штуцер; 7 - узел приготовления пылевоздушной смеси; 8 - патрубок очищенного газа; 9 - бункер уловленной пыли; 10 - вторичный ввод потока; 11 - тангенциальный закручиватель вторичного ввода; 12 - вентилятор [104]

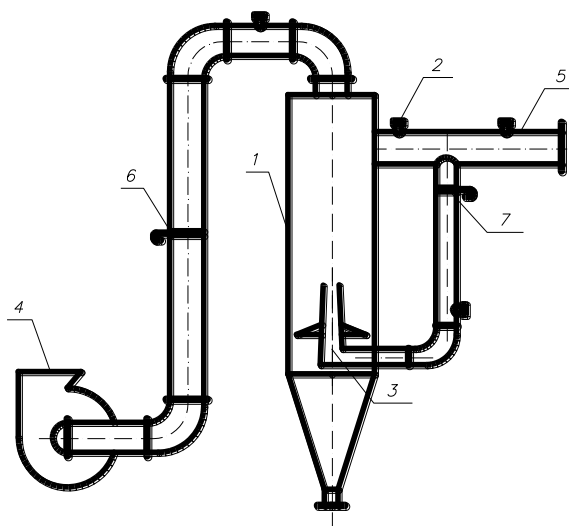


Рисунок 4.4 – Схема экспериментальной установки:
1-корпус аппарата ВЗП-180; 2,5-штуцер для проведения замеров; 3-
конический закручиватель потока нижнего ввода; 4-вентилятор; 6,7- шиберы
[17]

4.2 Разработка ряда типоразмеров аппаратов ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода

На основании проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований были разработаны ряд типоразмеров аппаратов: ВЗП-200/250, ВЗП-400/630, ВЗП-400/800, ВЗП-800/1000. В таблице 4.1 приведены основные технические аппараты разработанных аппаратов.

Таблица 4.1- Основные технические характеристики горизонтальных
центробежных разделителей

Марка аппарата	Расход аспирационного воздуха, м ³ /с	Габаритные размеры, мм×мм	Масса аппарата, кг
ВЗП-200/250	0,2	400×400	120
ВЗП -400/630	0,8	800×1200	280
ВЗП -400/800	0,9	800×4000	500
ВЗП –800/1000	2,2	1600×2400	700

На основании проведенных исследований были разработаны следующие модели аппаратов: ВЗП-200/250, ВЗП-400/630, ВЗП-400/800, ВЗП-800/1000. Здесь первая цифра означает диаметр верхнего сечения пылеуловителя, вторая – максимальный диаметр сечения пылеуловителя. Принципиально возможны и другие диаметры аппаратов после соответствующих конструкторских проработок и экспериментальных исследований.

4.3 Результаты предварительных экспериментальных исследований

Результаты исследований по предварительной оценке степени снижения запыленности воздуха, поступающего в атмосферный воздух из систем обеспыливающей вентиляции, при использовании аппарата ВЗП с предложенной конструкцией приведены в таблице 4.2, а также в виде графических зависимостей вида $\varepsilon = \varepsilon(L, c)$ (зависимости степени проскока ε от расход воздуха, подаваемого в аппарат, L , и концентрации пыли в воздухе, подаваемом в аппарат, c).

Таблица 4.2 - Результаты предварительного эксперимента

Расход воздуха, подаваемого в аппарат, м ³ /ч	Концентрация пыли в воздухе, подаваемом в аппарат, г/м ³	Проскок ε
1	2	3
400	0,5	0,217
	1	0,208
	2	0,197
	3	0,192
	4	0,182
	5	0,174

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3
	6	0,166
	7	0,161
	8	0,158
600	0,5	0,126
	1	0,121
	2	0,112
	3	0,108
	4	0,094
	5	0,086
	6	0,080
	7	0,075
	8	0,069
800	0,5	0,032
	1	0,028
	2	0,028
	3	0,03
	4	0,026
	5	0,021
	6	0,014
	7	0,011
	8	0,012

Полученные результаты показали, что, как и для пылеуловителей ВЗП с цилиндрической сепарационной камерой, эффективность очистки повышается при увеличении расхода и запыленности подаваемого на очистку воздушного потока.

4.4 Анализ результатов основного эксперимента

На этапе основного эксперимента определялась зависимость степени снижения пылевых выбросов от условной скорости и соотношения расходов, подаваемых на нижний и верхний вводы аппарата. Медианный диаметр частиц пыли $d_{50} = 6,2$ мкм, исследованы аппараты ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода диаметрами 400,600 и

800 мм.

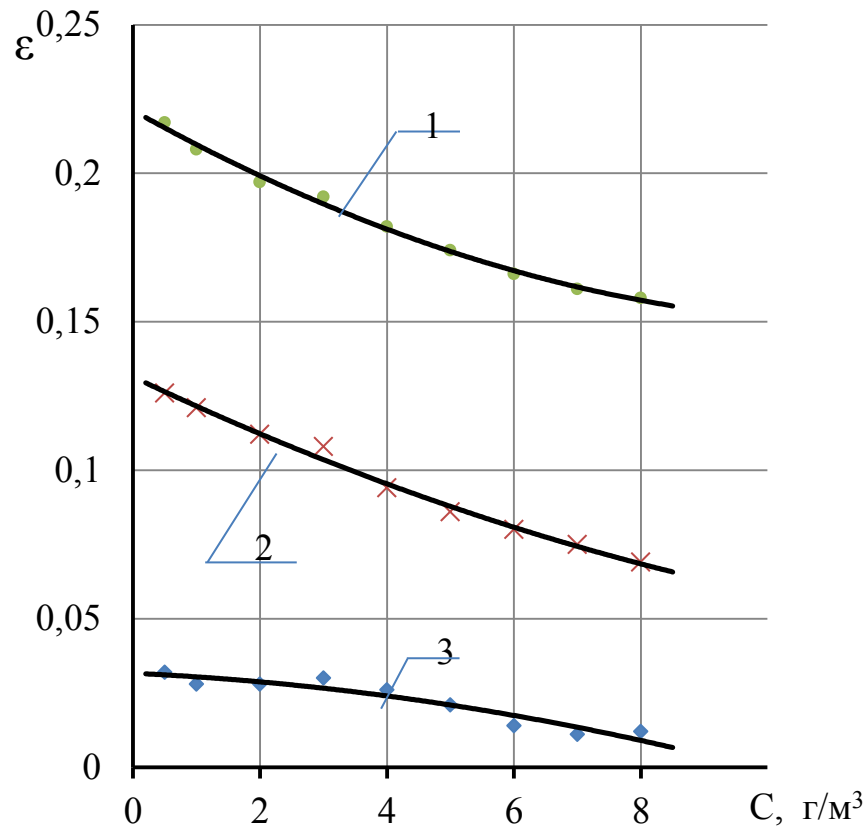


Рисунок 4.5 – Изменение проскока для аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода в зависимости от концентрации пыли при расходе воздуха:
1 - 400 м³/ч; 2 - 600 м³/ч; 3 - 800 м³/ч

4.5 Методика и программа исследований

Проведение экспериментальных замеров осуществлялось по принятым стандартным методикам.

По величинам давлений, измеряемых в воздуховодах с помощью микроманометров ММН-250 и трубок Прандтля, определялись: общий расход воздуха в установке; соотношение расходов пылегазовой смеси в верхних и нижних вводах пылеулавливающего аппарата; расход воздуха, отсасываемого из бункера пылеуловителя; аэродинамические характеристики.

Эффективность улавливания оценивалась путем сопоставления поступающей и выходящей массы пыли, определяемых отбором проб и измерениями в замерных сечениях воздухопроводов. Запыленность измерялась стандартным пылезаборным оборудованием, разработанным и изготовленным НИИОГАЗ. С целью обеспечения идентичности отбора проб в каждом из сечений режиму работы системы и поступления пыли [38] отбор проб осуществлялся одновременно во всех замерных сечениях

Исследование эффективности улавливания производилось с предварительно высушенной древесной пылью плотностью $\rho=1340 \text{ кг/м}^3$ (сосна) и медианным диаметром частиц 15 мкм.

Следует отметить автомодельность закрученных потоков в аппаратах ВЗП, т.е. в определенном диапазоне расходов воздуха безразмерные профили тангенциальной составляющей вектора скорости не зависят от размеров аппаратов при одинаковых их конструктивно-режимных параметрах.

Концентрация твердой фазы на входе в систему обеспечивалась задаваемым временем загрузки, фиксируемым по секундомеру и расчетной массой исходной загрузки, определяемой по формуле

$$G_0 = \frac{c_0 \cdot L}{60} \tau,$$

где: G_0 – масса исходной загрузки, г;

c_0 – заданная исходная концентрация на входе в систему, г/м³;

L – производительность установки по воздуху, м³/с;

τ – время загрузки материала, мин.

Отметим, что в настоящей работе использовалась одна из самых важных идей теории планирования эксперимента: концепция многофакторного эксперимента. Смысл ее состоит в следующем. Одновременно варьируя факторы, вызывающие изменение состояния объекта, мы определяем общее состояние объекта (это касается каждого эксперимента). Оптимально используя факторное пространство, мы добиваемся снижения дисперсии коэффициентов математической модели [1, 29]. В работе использованы

планы экстремального эксперимента. Они разработаны для определения оптимальных условий развития процессов в объектах исследования. Оптимум определяется по математической модели объекта исследования, представляющей собой некоторое полиномиальное уравнение.

Метод планирования эксперимента был применен для определения степени проскока пыли в вихревом инерционном аппарате со встречными закрученными потоками. Варьируемые факторы:

- x_1 - относительная скорость \bar{V}_y потока в поперечном сечении аппарата, которая равна отношению расхода газа, поступающего на очистку, к площади поперечного сечения аппарата и отнесенная к 1 м/с;
- x_2 - доля расхода газа, подаваемого в аппарат через нижний ввод k_n ;
- x_3 - относительная концентрация \bar{C} пыли в очищаемом потоке воздуха, равная концентрации пыли на входе в аппарат, отнесенной к 1 г/м³.

При использовании математической модели в виде полинома второго порядка используем планы на трех уровнях типа 3^n (где $n = 3$ – число факторов); при этом реализуем все сочетания уровней факторов. ПФЭ обладает следующими преимуществами[1, 29]:

- 1) дисперсии переменной состояния не зависит от вращения системы координат в центре плана;
- 2) дисперсия оценки коэффициентов регрессии получается в N раз меньшей ошибки опыта;
- 3) взаимная независимость определения коэффициентов регрессии;
- 4) элементарность вычисления коэффициентов.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 4.2, матрица экспериментальных исследований по определению степени проскока пыли приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
		Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
x_1 - относительная скорость потока в поперечном сечении аппарата	4	6	8	4
x_2 - доля расхода газа, подаваемого в аппарат через нижний ввод K_n ;	0,5	0,25	0,5	0
x_3 - относительная концентрация пыли в очищаемом потоке воздуха	40	20	40	0,1

Таблица 4.4 – Матрица экспериментальных исследований по определению эффективности пылеулавливания

№	№ реал.		Факторы			Рабочая матрица			ε
	1	2	x_1	x_2	x_3	L	L_n/L_6	C	y_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	27	-1	-1	-1	4	0	0,1	15
2	2	27	-1	-1	0	4	0	20	13,3
3	3	25	-1	-1	1	4	0	40	13,1
4	4	24	-1	0	-1	4	0,25	0,1	9,9
5	5	23	-1	0	0	4	0,25	20	8,2
6	6	22	-1	0	1	4	0,25	40	7,9
7	7	21	-1	1	-1	4	0,5	0,1	13,1
8	8	20	-1	1	0	4	0,5	20	11,4
9	9	19	-1	1	1	4	0,5	40	11,1
10	10	18	0	-1	-1	6	0	0,1	10,1
11	11	17	0	-1	0	6	0	20	8,4
12	12	16	0	-1	1	6	0	40	8
13	13	14	0	0	-1	6	0,25	0,1	5
14	14	15	0	0	0	6	0,25	20	3,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	15	13	0	0	1	6	0,25	40	3,1
16	16	12	0	1	-1	6	0,5	0,1	8,1

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	17	11	0	1	0	6	0,5	20	6,3
18	18	10	0	1	1	6	0,5	40	5,9
19	19	9	1	-1	-1	8	0	0,1	9,5
20	20	8	1	-1	0	8	0	20	6,8
21	21	7	1	-1	1	8	0	40	6,5
22	22	6	1	0	-1	8	0,25	0,1	4,5
23	23	5	1	0	0	8	0,25	20	2,8
24	24	4	1	0	1	8	0,25	40	2,5
25	25	3	1	1	-1	8	0,5	0,1	7,5
26	26	2	1	1	0	8	0,5	20	5,8
27	27	1	1	1	1	8	0,5	40	5,5

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить регрессионные зависимости вида $\varepsilon = \varepsilon(k_n, \bar{V}, \bar{C})$.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$\varepsilon = 0,25 - 21,03k_n + 42,43k_n^2 - 5,4\bar{V} + 0,33\bar{V}^2 - 0,2\bar{C}. \quad (4.1)$$

Для исключения корреляции неуправляемых факторов с результатами практических замеров применена рандомизация порядка выполнения опытов. Воспроизводимость экспериментального процесса и проведение статистических оценок результатов эксперимента в ходе разработки экспериментального плана связывались с проведением двух параллельных серий опытов. Именно, на всех сочетаниях уровней определяющих факторов планировалось проведение двух измерений. Оценка воспроизводимости была выполнена на основе сопоставления расчетного и табличного критериев Кохрена [1, 29]. Расчет воспроизводимости экспериментов можно найти в прил. 2.

Очевидно, что разные факторы влияют на переменную состояния по-разному. Для оценки данного влияния проверяют значимость каждого

коэффициента двумя похожими способами. В обоих случаях сначала находят дисперсию коэффициентов регрессии, следуя формуле [1, 22,30]:

$$s_{bi}^2 = \frac{s_0^2}{N}. \quad (4.2)$$

По данным расчета приложения 2 рассчитаем ошибку опыта:

$$s_0^2 = 1/27 \cdot 12,92 = 0,478,$$

затем вычисляем дисперсию коэффициентов уравнения регрессии s_{bi}^2 и s_{bi} :

$$s_{bi}^2 = 0,478 / 27 = 0,0177,$$

$$s_{bi} = \sqrt{0,0177} = 0,133.$$

Поскольку дисперсии всех коэффициентов равны и зависят только от ошибки опыта s_0^2 и числа строк матрицы планирования N , то по первому способу оценки значимости коэффициентов вычисляем t_{ip} по формуле [1, 22, 30] и сравниваем с табличным:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{s_{bi}}; \quad (4.3)$$

при этом соблюдается условие:

$$t_{ip} > t_T, \quad (4.4)$$

где $|b_i|$ - абсолютное значение i -го коэффициента регрессии; t_T - табличное значение критерия Стьюдента, которое находят по числу степеней свободы $f_0 = N(m-1)$ для уровня значимости $q=0,05$ (доверительной вероятности $P=0,95$) $t_T = 2,05$; s_{bi} - среднеквадратическое отклонение.

Применяя второй способ для проверки значимости коэффициентов регрессии, используем доверительный интервал Δb_i , который по причине равенства s_{bi}^2 для всех коэффициентов, одинаков для всех b_i [1, 44, 56]:

$$\Delta b_i = \pm t_T s_{bi}, \quad (4.5)$$

$$\Delta b_i = t_T \cdot s_{bi} = \pm 2,05 \cdot 0,133 = \pm 0,273$$

Теперь оцениваем значимость путем сравнения абсолютных значений коэффициента и доверительного интервала:

$$|b_i| > |\Delta b_i|. \quad (4.6)$$

По данному условию коэффициенты уравнения регрессии значимы.

Пригодность уравнения регрессии для решения задачи поиска оптимума проверяется следующим методом. Подвергают сравнению две дисперсии. Одна из них отражает рассеяние средних опытных величин переменной состояния y_u относительно тех значений переменных состояния y_{u1} , которые предсказаны выведенным уравнением регрессии. Такая дисперсия именуется дисперсией адекватности и вычисляется по формуле [1, 16, 30]:

$$s_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{u=1}^N (y_u - y_{u1})^2, \quad (4.7)$$

где m – число проводящихся параллельно опытов; N – количество строк матрицы планирования; l – количество членов уравнения регрессии, оставшихся после проведенной оценки значимости. Вторая дисперсия – это ошибка, возникающая при проведении опыта. Адекватность проверяется оценкой соотношения [1, 28, 30]

$$F_p = \frac{s_{ad}^2}{s_0^2} \quad (4.8)$$

по критерию Фишера

$$F_p < F_{\tau} \quad (4.9)$$

для степеней свободы $f_{ad}=N-l$, $f_0=N(m-1)$ и заданного уровня значимости q . Если выполнено неравенство (4.9), то уравнение регрессии считается адекватным. Если же неравенство (4.9) не выполняется, т.е. модель неадекватна, особенно часто принимается решение уменьшить интервалы варьирования факторов и повторить эксперимент.

Рассчитаем адекватность уравнения регрессии.

Ошибка опыта: $s_0^2=0,405$, дисперсия адекватности: $s_{ad}^2=0,765$.

Если рассмотреть уровень значимости $q = 0,05$, расчетное значение по критерию Фишера составляет $F_p = \frac{0,765}{0,405} = 1,89$, что меньше табличного значения $F_T = 2,38$, и, следовательно, можно сделать вывод, что уравнение регрессии 4.1 адекватно описывает экспериментальные данные [1, 22, 30].

4.6 Основные результаты экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований работы стандартного аппарата ВЗП (3), аппарата ВЗП с обратным конусом (1), аппарата ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода (2) и аппарат ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода (4) приведены на рисунках 4.6-4.7.

Например, на рисунке 4.6 представлены графики зависимости степени проскока пыли аппаратов ВЗП от относительной скорости потока V_y в поперечном сечении аппарата [20,21].

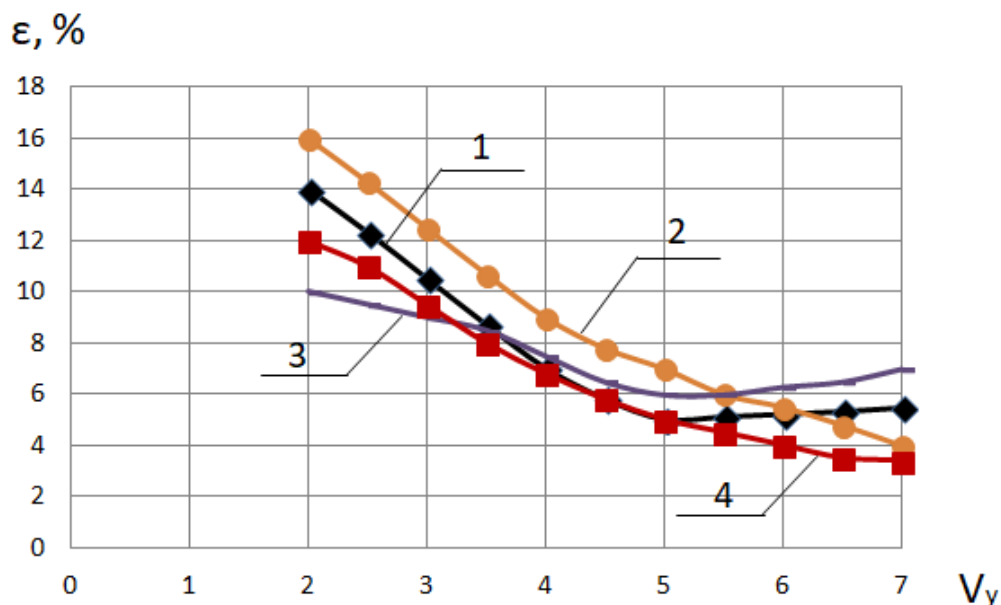


Рисунок 4.6 – график зависимости степени проскока пыли аппаратов ВЗП-200 от относительной скорости потока в поперечном сечении аппарата:
 1 - аппарата ВЗП с обратным конусом, 2 - аппарата ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода, 3 - стандартный аппарат ВЗП, 4 - аппарат ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода

На основе анализа рисунка 4.6 можно сделать вывод, что повышение расхода воздуха через пылеуловитель и средней скорости по его сечению способствует уменьшению степени проскока пыли, поступающей как по верхнему, так и нижнему вводам. При относительной скорости потока до 3,5 м/с (при малых расходах) наиболее эффективный режим работы наблюдается у стандартного аппарата ВЗП, при скорости от 3,5 до 6 м/с (при средних расходах) - аппарат ВЗП с обратным конусом и аппарат ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода, при скорости свыше 6 м/с (при больших расходах) - аппарат ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода. Для шлифовальной древесной пыли оптимально работает аппарат ВЗП с обратным конусом (1), для крупной пыли эффективен аппарат ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода (2), для древесной пыли средних фракций степень проскока пыли примерно одинаковая [18,19,21]. Таким образом, при уменьшении расхода (появление подсосов, нарушение герметичности, отложение в воздуховодах пыли) аппарат ВЗП с обратным конусом (рис. 4.3) менее эффективен, чем стандартный аппарат ВЗП (рис. 4.2), при увеличении расхода эффективен аппарат ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода (рис. 4.1).

Автором предложена схема пылеуловителя со встречными закрученными потоками с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода (рис.4.1). Данный аппарат показывает наилучшие показатели работы (наименьший проскок пыли) для шлифовальной древесной пыли в диапазоне относительных скоростей потока V_y от 3 до 8 м/с, в том числе и для мелкодисперсной пыли размером менее 10 микрон (PM_{10}).

На рисунке 4.7 представлена зависимость эффективности пылеулавливания аппаратов ВЗП от относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси.

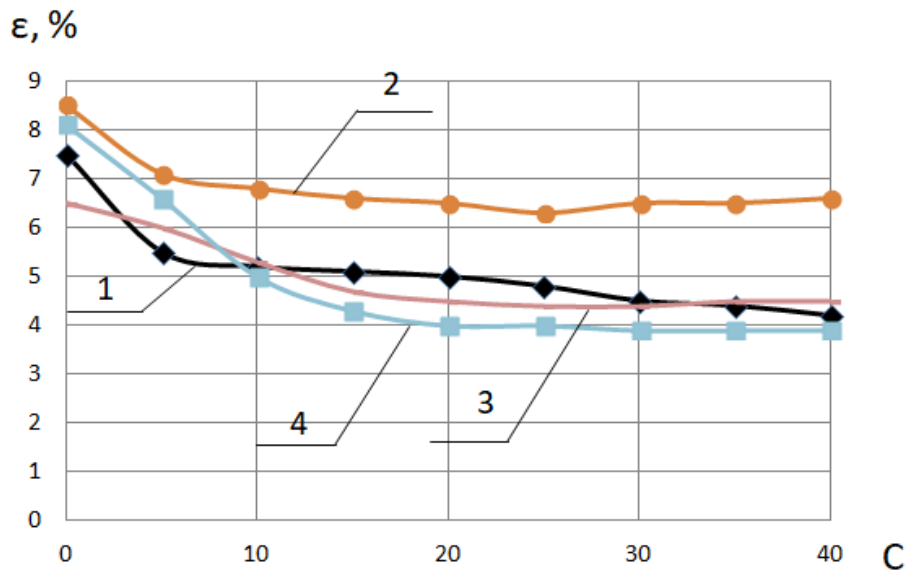


Рисунок 4.7 – Зависимость эффективности степени проскока пыли аппаратов ВЗП-200 от относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси при оптимальной скорости, $d_{50}=6,2$ мкм: 1 – для аппарата ВЗП с обратным конусом, 2 – для аппарата ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода, 3 – для стандартного аппарата ВЗП, 4 – для аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода

Концентрация подверженной очистке пылевоздушной смеси влияет на эффективность пылеулавливания аппарата ВЗП. Именно, при повышении концентрации пыли растет эффективность работы ВЗП. Это объясняется ростом столкновений частиц пыли, в результате чего они укрупняются.

Зависимости эффективности пылеулавливания и потерь давления в аппаратах ВЗП от отношения расхода воздуха, подаваемого в нижний ввод, к общему расходу очищаемого воздуха, графически представляют вид параболы с $k_n=0,29$. Соотношение расходов влияет на пылеулавливающую способность аппарата в процессе очистки воздуха. Если отношение расхода воздуха, который подается в нижний ввод, к общему расходу подвергаемого очистке воздуха равно 0,29, эффективность пылеулавливания в аппарате ВЗП достигает максимума за счет повышения эффективности улавливания пыли, поступающей в аппарат с нижним потоком газа, входная скорость и крутка которого растут с ростом k_n . Данные зависимости аналогичны и для других

видов пылей [3, 17].

Поскольку концентрации пыли не влияют на аэродинамические характеристики отдельных аппаратов и всей установки в целом, то в данной работе исследования аэродинамических процессов не проводились.

Фракционная эффективность пылеулавливания аппаратов ВЗП была определена по данным дисперсного состава поступившей, уловленной и вынесенной из аппарата пыли. Результаты показаны на рис. 4.8. Погрешность расчетных и экспериментальных значений эффективности пылеулавливания не превышает 5 %.

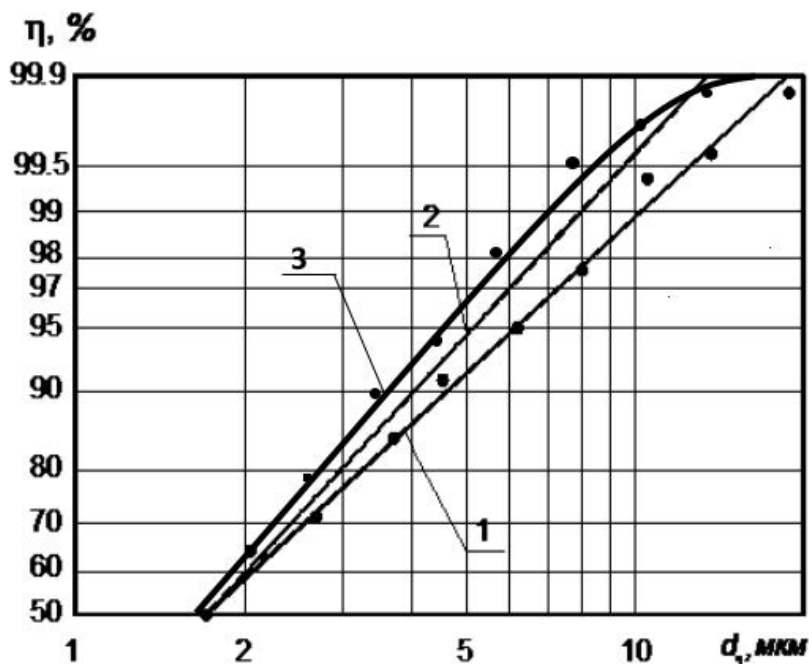


Рисунок 4.8 –Графики, отражающие фракционную эффективность аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода при улавливании частиц древесины ($\rho = 1340 \text{ кг/м}^3$):

1 – данные эксперимента (цилиндрический ВЗП) [17]; 2 – данные теоретического расчета [17]; 3 – экспериментальные данные автора

4.7 Опытнo-промышленная установка пылеулавливания в системах пылеочистки с циклоном и коническим ВЗП

Описание опытно-промышленной установки

Часто существующие системы пылеочистки не позволяют достигнуть требуемых показателей санитарно-гигиенических норм на границе СЗЗ.

Особенно часто это наблюдается при системах очистки только с одним циклоном. Для этого на основании приведенных в главе 3 экспериментальных исследований разработана и прошла апробацию установка пылеулавливания, схема которой приведена на рис. 4.9.

Достоинством данной установки является:

- 1) отсутствует необходимость демонтировать циклон 4;
- 2) установка ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода 5 позволяет снизить суммарный проскок пыли в 2,7-3,5 раза, выбросы мелкодисперсной пыли PM_{10} сократить в 1,8-2,0 раза, выбросы мелкодисперсной пыли $PM_{2,5}$ сократить в 1,3-1,5 раза.
- 3) расход газа, поступающий в пылеуловитель 5, составляет, как правило, 9-15% от общей нагрузки подаваемого на циклон 4 газа.
- 4) возможность изменения расположения отсоса по высоте циклонного аппарата.

В случае, когда расход пылевоздушной смеси, поступающей на очистку, составляет 10-20 % от максимального, используется нижняя часть отсоса ($\bar{h}_{omc}=0,75h_{an}$); если расход достигает 50 %, используется средняя часть отсоса ($\bar{h}_{omc}=0,5h_{an}$); если расход максимальный, работает верхняя часть ($\bar{h}_{omc}=0,25h_{an}$).

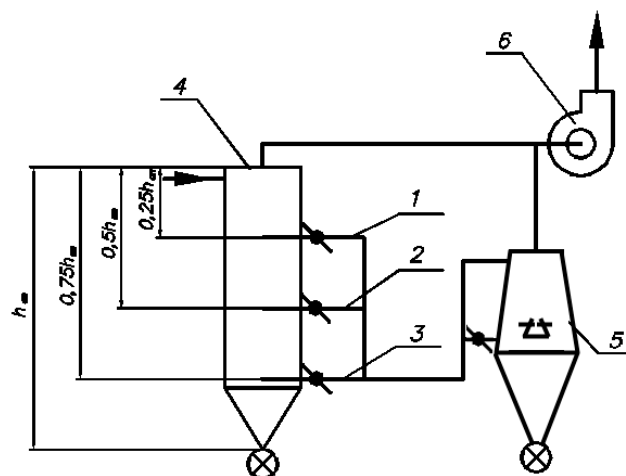


Рисунок 4.9 - схема опытно-промышленной установки пылеулавливания:

1,2,3 – отсосы из рабочей части циклона, 4 – циклон диаметром 500, 5- пылеуловитель ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода – 150, 6 – вентилятор

Пылеулавливающие аппараты ВЗП имеют корпус в виде цилиндра с диаметром 500 мм. Высота и ширина верхнего ввода первичного потока, диаметр патрубка нижнего ввода вторичного потока, диаметр отбойной шайбы и т.д. определены соотношениями конструктивных параметров, характерных для аппаратов ВЗП [7, 77].

Соотношение расходов пылевоздушной смеси в верхних и нижних вводах в аппараты, расход воздуха, отсасываемого из бункерной зоны пылеуловителя первой ступени, а также направление движения уловленного продукта (на ввод в систему или в пылеуловитель первой ступени) регулируются шиберами. На воздуховодах первичного и вторичного потоков, очищенного газа, на воздуховоде возврата уловленного продукта для удобства замеров установлены штуцеры с завинчивающимися крышками.

4.8 Методика изменений планирования эксперимента и результаты испытаний промышленной установки

Экспериментальные замеры определялись принятыми стандартными методиками.

По величинам давлений, измеряемых в воздуховодах с помощью микроманометров ММН-250 и трубок Прандтля, определялись: общий расход воздуха в установке; соотношение расходов пылегазовой смеси в верхних и нижних вводах пылеулавливающего аппарата; расход воздуха, отсасываемого из бункера пылеуловителя; аэродинамические характеристики.

Эффективность улавливания оценивалась путем сопоставления поступающей и выходящей массы пыли, определяемых отбором проб и измерениями в замерных сечениях воздуховодов. Запыленность измерялась стандартным пылезаборным оборудованием, разработанным и изготовленным НИИОГАЗ. С целью обеспечения идентичности отбора проб

в каждом из сечений режиму работы системы и поступления пыли [38] отбор проб осуществлялся одновременно во всех замерных сечениях[94].

Исследование эффективности улавливания производилось с предварительно высушенным кварцевым песком плотностью $\rho=2650 \text{ кг/м}^3$ с фракционным составом: частицы размером 0,3-1 мкм составляют 20%; 1-5 мкм - 20%; 5-10 мкм – 40%; свыше 10 мкм – 20%.

Концентрация твердой фазы на входе в систему обеспечивалась задаваемым временем загрузки, фиксируемым по секундомеру и расчетной массой исходной загрузки, определяемой по формуле

$$G_0 = \frac{c_0 \cdot L}{60} \tau, \quad (4.10)$$

где: G_0 — масса исходной загрузки, г;

c_0 — заданная исходная концентрация на входе в систему, г/м^3 ;

L —производительность установки по воздуху, $\text{м}^3/\text{ч}$.

В качестве параметра оптимизации приняты общая эффективность пылеулавливания системы и аэродинамическое сопротивление. При проведении исследований методами планирования эксперимента, и на основании проведенного с позиций вероятностно-стохастического подхода теоретического анализа процесса пылеулавливания в вихревых инерционных аппаратах со встречными закрученными потоками в качестве определяющих факторов были выбраны:

\bar{V}_y — условная скорость в среднем сечении пылеуловителя,

определяемая по выражению $V_y = \frac{L_\Sigma}{3600 \cdot F_{сеч}}$ и отнесенная к 1 м/с.;

\bar{C}_y — условная концентрация на входе в установку и отнесенная к 1 мг/м^3 ;

$\bar{h}_{отс}$ — относительная высота расположения отсоса в аппарате.

На первом этапе был реализован полный факторный эксперимент порядка типа 2^n (где $n=3$ – число факторов), матрица планирования которого приведена в табл. 3.2., при этом определяющие факторы были приведены к виду: где

$$x_1 = \frac{\bar{V}_y - \bar{V}_{y_0}}{\Delta \bar{V}_y}; \quad x_2 = \frac{\bar{h}_{omc} - \bar{h}_{omc0}}{\Delta \bar{h}_{omc}};$$

$$x_3 = \frac{\bar{C}_y - \bar{C}_{y_0}}{\Delta \bar{C}_y}$$

$$\bar{V}_{y_0}; \bar{C}_{y_0}; \bar{h}_{omc0} -$$

значения соответствующих факторов в центре плана;

$$\Delta \bar{V}_y; \Delta \bar{C}_y; \Delta \bar{h}_{omc} -$$

интервалы изменений значения факторов.

При числе степеней свободы, равном 3, проведена оценка дисперсий определяющих факторов, установлены коэффициенты регрессии, доверительный интервал, а также средняя квадратическая ошибка, получающаяся при определении указанных коэффициентов. В результате получилось, что коэффициенты взаимодействия значимы, а линейная модель не обладает адекватностью. Поэтому было принято решение об аппроксимации функции отклика квадратичными полиномами [4, 40,90,102].

Таблица 4.5 – Уровни и интервалы варьирования определяющих факторов

Факторы	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
		Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
1	2	3	4	5
\bar{V}_y – относительная условная скорость в среднем сечении аппарата	1,0	4,3	5,3	3,3
\bar{C}_y – условная относительная концентрация на входе в установку	60	80	140	20
\bar{h}_{omc} – относительная высота расположения отсоса в аппарате	0,25	0,5	0,75	0,25

Адекватность уравнений регрессии проверялась сопоставлением расчетного и табличного (при заданных q и числе степеней свободы) значений критерия Фишера F , представляющего собой отношение дисперсии адекватности к ошибке опыта. Выполнение во всех случаях условий $F_p < F_m$ свидетельствует об адекватности полученной модели [4, 40, 102].

На рис. 4.10–4.12. показано изменение эффективности пылеулавливания блока из циклона с отсосом из сепарационной части и пылеуловителя со встречными закрученными потоками в зависимости от скорости потока в среднем сечении и от высоты расположения отсоса при различных концентрациях на входе в установку.

Как следует из результатов, приведенных на рис. 4.13, максимальная суммарная эффективность пылеулавливания блока из циклона и отсоса из сепарационной части с пылеуловителем на встречных закрученных потоках достигается при изменении соотношения расхода, подаваемого на нижний ввод пылеуловителя, к общему, подаваемому на очистку (K_n), в пределах

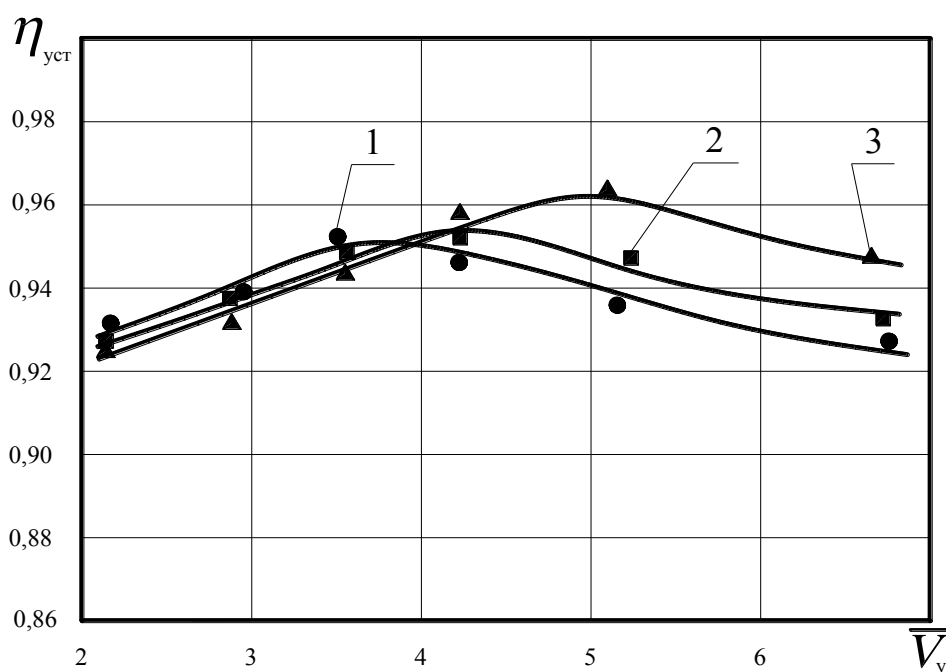


Рисунок 4.10 - зависимость эффективности установки от условной скорости в среднем сечении аппарата при $C = 20 \text{ мг/м}^3$: 1 - $\bar{h}_{омс} = 0,75h_{ан}$; 2 - $\bar{h}_{омс} = 0,5h_{ан}$; 3 - $\bar{h}_{омс} = 0,25h_{ан}$

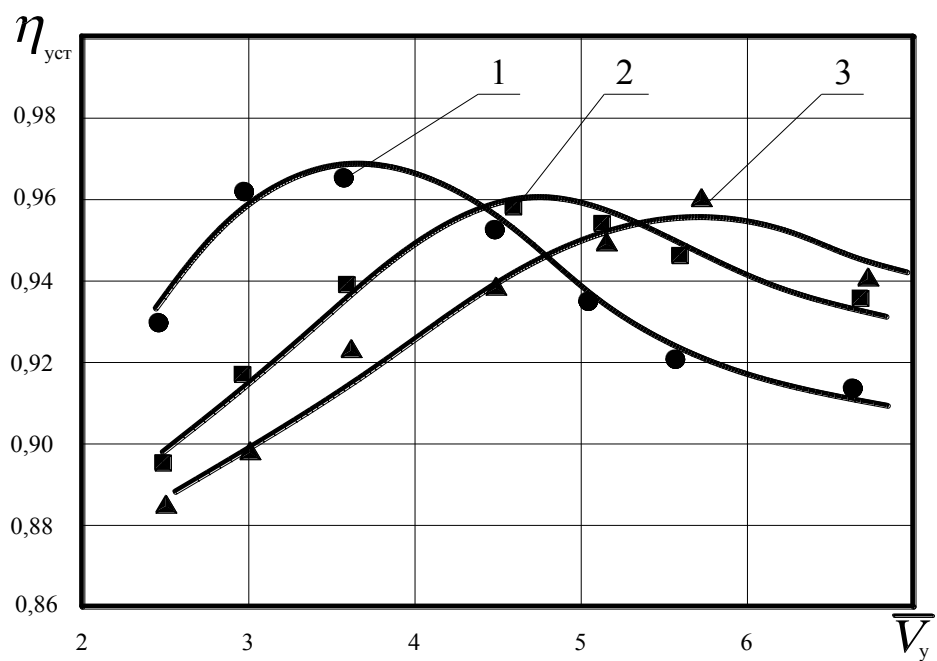
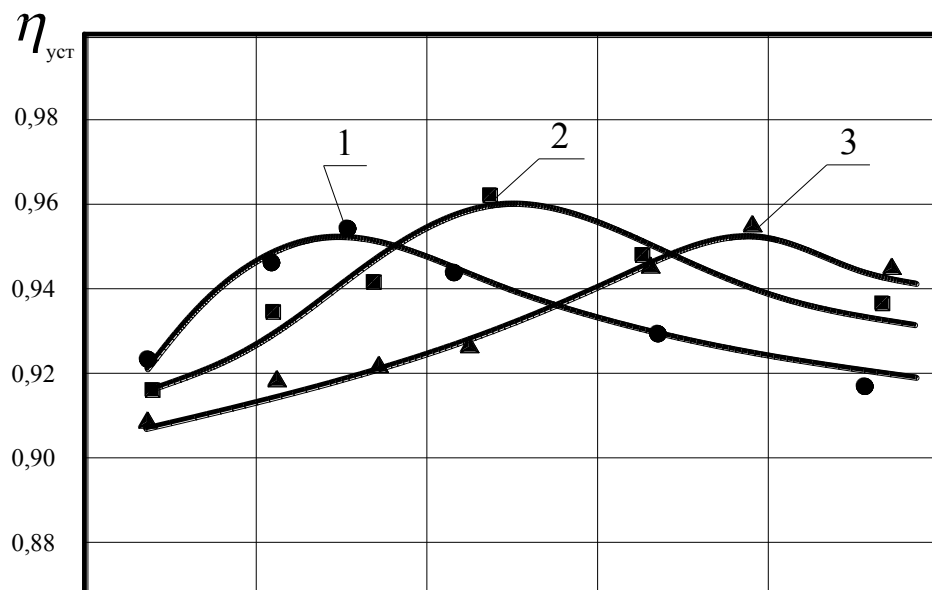


Рисунок 4.12 - зависимость эффективности установки от условной скорости в среднем сечении аппарата при $C = 140 \text{ мг/м}^3$: 1 - $\bar{h}_{омс} = 0,75h_{ан}$; 2 - $\bar{h}_{омс} = 0,5h_{ан}$; 3 - $\bar{h}_{омс} = 0,25h_{ан}$

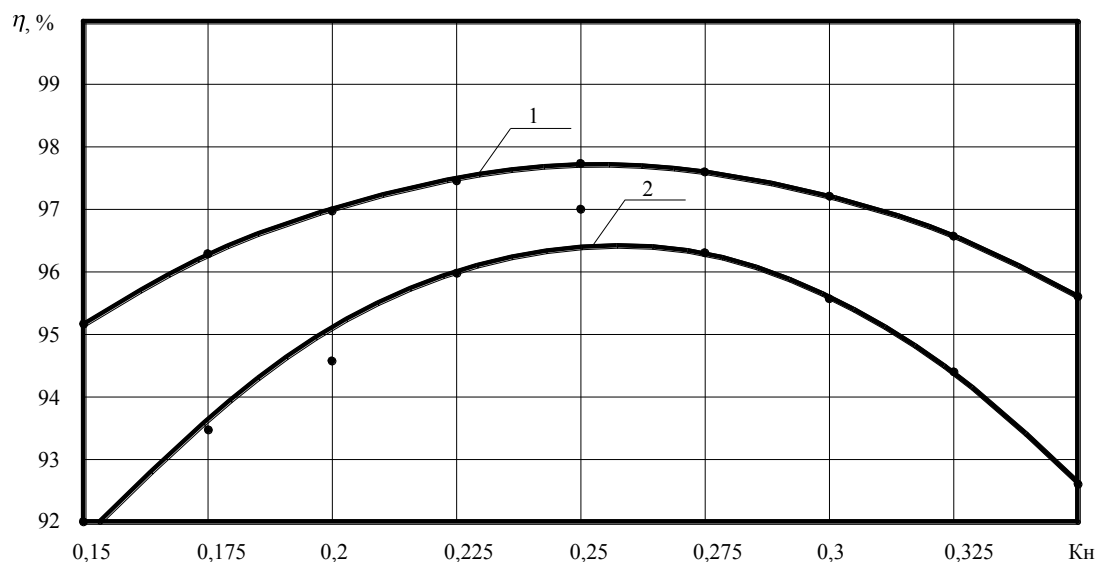


Рисунок 4.13 - зависимость эффективности пылеулавливания от отношения расхода, подаваемого в аппарат через нижний ввод к общему (K_n) при $\bar{V}_y=4,3$:

1 - блок из циклона и отсоса из сепарационной части с пылеуловителем на встречных закрученных потоках; 2 - пылеуловитель ВЗП

В этих же пределах изменения K_n находится минимальное значение потерь давления. Для одиночных аппаратов на встречных закрученных потоках оптимальное значение величины K_n , как правило, колеблется в более узких пределах. Например, для аппарата ВЗП оптимальный диапазон изменения величины $K_n - 0,23 \dots 0,27$.

Обработка результатов экспериментальных исследований по методу наименьших квадратов позволила получить регрессионные зависимости

$$\varepsilon = \varepsilon(\bar{V}_y, \bar{h}_{\text{отс}}, \bar{C}). \quad (4.11)$$

Уравнение регрессии имеет вид:

$$\varepsilon = 0,21 - 0,57\bar{V}_y(1 - 0,99\bar{V}_y) - 0,02\bar{h}_{\text{отс}}(1 + 175,6\bar{h}_{\text{отс}}) - 0,2\bar{C}. \quad (4.12)$$

4.9 Реализация результатов исследований

Результаты исследований, выполненных по возможности использования вихревых пылеуловителей в системах аспирации технологического оборудования по производству строительных материалов, внедрены на ООО «Тандем-ВП» (г. Новочеркасск). При расходе очищаемого

газа в $4000 \text{ м}^3/\text{час}$ и концентрации пыли на входе до $1500 \text{ мг}/\text{м}^3$ проскок пыли в оптимальном режиме работы не превысил $29 \text{ мг}/\text{м}^3$, то есть 2 %. Испытания в течение 72 часов показали, что установка ВЗП-400 работает устойчиво и обеспечивает выполнение требуемых норм на границе санитарно-защитной зоны (см. Приложение А). Результаты сведены в таблицу.

Таблица 4.6 – Использование вихревых пылеуловителей в системах аспирации технологического оборудования по производству строительных материалов на ООО «Тандем-ВП».

Наименование	Диаметр, мм	Общая пропускная способность по воздуху, $\text{м}^3/\text{час}$	Эффективность очистки воздуха, в %, в пределах	Высот пылеуловителя, мм, не более	Масса пылеуловителя, кг, не более
ВЗП-400	400	4000	96-99 %	2138	160

Аналогичные результаты были получены при внедрении вихревых пылеуловителей на ООО «Волгоградгражданстрой» (г. Волгоград), где при расходе очищаемого газа в $4200 \text{ м}^3/\text{час}$ и концентрации пыли на входе до $2000 \text{ мг}/\text{м}^3$ проскок пыли в оптимальном режиме работы не превысил $31 \text{ мг}/\text{м}^3$, то есть 1,5 % (см. Приложение Б).

Рекомендации, предложенные по снижению выбросов пыли в атмосферу в цехе по производству сорбентов (ООО «Диара», г. Миллерово), позволили снизить эти выбросы на 14%, а также добиться концентрации древесной пыли на границе санитарно-защитной зоны менее $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ (см. Приложение В).

Выводы по четвертой главе

1. Получены экспериментальные зависимости степени проскока пыли аппарата ВЗП с обратным конусом иконическим закручивателем потока нижнего ввода от различных режимных характеристик пылеуловителя.

Данный аппарат показывает наилучшие показатели работы (наименьший проскок пыли) для шлифовальной древесной пыли в диапазоне относительных скоростей потока V_y от 3 до 8 м/с, в том числе и для мелкодисперсной пыли размером менее 10 микрон (PM_{10}).

2. По результатам экспериментов установлено: для шлифовальной древесной пыли оптимально работает аппарат ВЗП с обратным конусом, для крупной пыли эффективен аппарат ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода, для древесной пыли средних фракций степень проскока пыли примерно одинаковая.

3. При уменьшении расхода воздуха аппарат ВЗП с обратным конусом менее эффективен, чем стандартный аппарат ВЗП, при увеличении расхода эффективен аппарат ВЗП с коническим закручивателем потока нижнего ввода.

4. Получены аналитические зависимости, характеризующие степень проскока пыли в системах аспирации с учетом изменяющихся расхода и концентрации пылегазового потока, обусловленных особенностями технологического режима.

5. Установка ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода позволяет снизить суммарный проскок пыли в 2,7-3,5 раза, выбросы мелкодисперсной пыли PM_{10} сократить в 1,8-2,0 раза, выбросы мелкодисперсной пыли $PM_{2.5}$ сократить в 1,3-1,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена решению актуальных задач – обеспечению экологической безопасности на предприятиях по производству деревянных строительных конструкций и изделий и снижению негативного воздействия на атмосферный воздух. По результатам выполненных комплексных исследований, направленных на: прогнозирование состояния воздушной среды; изучение технологических процессов, происходящих при подготовке и производстве строительных изделий из древесины; конструирование, оптимизацию параметров пылеулавливания аппаратов ВЗП с целью снижения негативного воздействия пылевого фактора, — можно сделать следующие **основные выводы по работе:**

1. Проработка и анализ известной научной литературы и других научно-технических источников показали, что для обеспыливания воздушной среды на деревообрабатывающих предприятиях применяются централизованные и децентрализованные системы обеспыливания. При этом для очистки выбросов в атмосферу в централизованных системах аспирации и обеспыливания в большинстве случаев используются циклонные аппараты, в которых реализуются вихревые эффекты.

2. Предложена схема расчета «Определение пылевых выбросов в атмосферу от деревообрабатывающего предприятия», учитывающая все источники пыления.

3. В результате проведения натурных экспериментов и исследований процессов распространения и оседания пыли в производственных помещениях ряда предприятий установлено: изменение запыленности воздуха рабочей зоны и плотности оседания пыли в производственных помещениях на различных расстояниях от источников пылевыделения подчиняется экспоненциальному закону.

4. Полученные результаты изучения дисперсного состава и основных свойств древесной пыли, данные о которых необходимы для решения

вопросов обеспыливания воздуха, показали, что в атмосферный воздух поступают частицы пыли, основная масса которых приходится на частицы с размерами менее 20 мкм. Причем в начале рабочего дня в атмосферном воздухе на территории промплощадки на долю частиц PM_{10} приходится 5-10%, в конце рабочего дня – 9-12%. Однако на границе санитарно-защитной зоны содержание мелкодисперсных частиц возрастает и составляет: для частиц PM_{10} в начале рабочего дня 50%, в конце рабочего дня – 98%; для частиц $PM_{2,5}$ – 0,6% и 15% соответственно.

5. Построена параболическая графическая зависимость, характеризующая скорость оседания частиц древесной пыли, образующейся в процессе шлифования, от среднего эквивалентного диаметра при максимальной скорости 1,1 м/с частицы имеют диаметр от 11 до 28 мкм, а при минимальной скорости оседания, равной 0,1 м/с, частицы имеют диаметр от 1,1 мкм до 9 мкм.

6. Для процессов деревообработки: пиления, фрезерования, сверления, строгания, шлифования, — были получены верхние и нижние огибающие диапазонов изменения дисперсного состава древесной пыли. При выборе средств пылеулавливания, средств коллективной защиты и систем аспирации следует ориентироваться на верхние огибающие.

7. Для обеспечения надежности систем аспирации, предназначенных для обеспыливания воздуха рабочей зоны, а также для снижения запыленности атмосферного воздуха, на основе данных о свойствах исследуемой пыли предложено использование опытно-промышленной установки — аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем. Получены экспериментальные зависимости степени проскока пыли аппарата ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода от различных режимных характеристик пылеуловителя. Данный аппарат показывает наименьший проскок пыли для древесной пыли в диапазоне относительных скоростей

потока от 3 до 8 м/с, в том числе и для мелкодисперсной пыли размером менее 10 мкм (PM_{10}).

8. Установка ВЗП с обратным конусом и коническим закручивателем потока нижнего ввода позволяет снизить суммарный проскок пыли в 2,7-3,5 раза. Установка ВЗП-400, прошедшая опытно-промышленные испытания в течение 72 часов в ООО «Тандем-ВП» (г. Новочеркасск) и в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой» (г. Волгоград), работает устойчиво и обеспечивает выполнение требуемых норм на границе санитарно-защитной зоны.

9. Полученные в диссертационной работе результаты и выработанные рекомендации по снижению поступления выбросов пыли в атмосферу в цехе по производству сорбентов ООО «Диара» (г. Миллерово) позволили снизить эти выбросы на 14%, а также добиться концентрации древесной пыли на границе санитарно-защитной зоны менее $0,5 \text{ мг/м}^3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст]/ Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Азаров, В. Н. Применение метода «рассечение» при анализе дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны предприятий стройиндустрии и машиностроения [Текст] / В. Н. Азаров, Е. Ю. Есина // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф., 14-19 сент. 2009 г., г. Севастополь. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - Т. 1. - С. 30-33.
3. Азаров, В. Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. Н. Азаров. – Ростов-на-Дону: РГСУ. - 2004. - 40 с.
4. Азаров, В. Н. Математическая модель процесса улавливания в пылеуловителях с закрученными встречными потоками с отсосом из нижней зоны аппарата [Текст] / В. Н. Азаров, Е. И. Богуславский, Н. М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: Междунар. научно-практ. конф. - Волгоград, 1999.– С. 79-80.
5. Азаров, В. Н. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением ПК [Текст] / В. Н. Азаров, Н. М. Сергина. - Москва, 2002. - 9 с. - Деп. в ВИНТИ 15.07.2002, № 1333.
6. Азаров, В. Н. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) [Текст] / В. Н. Азаров, О. В. Юркъян, Н. М. Сергина, А. В. Ковалева // Законодательная и прикладная метрология. - 2004. - № 1. - С. 46-48.
7. Азаров, В. Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками: обзор изобретений [Текст] / В. Н. Азаров. - Волгоград: ООО «Ассоциация Волгоградэкотехзерно», 1999. - 48 с.

8. Азаров, В. Н. Совершенствование методики дисперсного анализа пыли в инженерно-экологических системах [Текст] / В. Н. Азаров, А. М. Жемчужный // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: материалы науч.-техн. конф., дек. 2001, г. Волгоград, 2001. - С. 16-24.
9. Азаров, В. Н. Дисперсный анализ методом микроскопии с применением ПЭВМ [Текст] / В. Н. Азаров, А. В. Ковалева, Н. М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 18-20 мая 1999 г. Волгоград, 1999. - С. 76-78.
10. Азаров, В.Н. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов [Текст] / В. Н. Азаров, С. А. Кошкарёв // Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. - 2016. - № 43. - С. 161-174.
11. Азаров, В. Н. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) в воздушной среде [Текст] / В. Н. Азаров, Е. А. Калюжина, Н. А. Маринин, И. В. Тертишников // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. - 2011. Вып. 25(44). - С. 402-407.
12. Азаров, В. Н. Нормирование PM_{10} и $PM_{2,5}$ как социальных стандартов качества в районах расположения предприятий стройиндустрии [Текст] / В. Н. Азаров, Н. А. Маринин, И. В. Тертишников // Жилищное строительство. - 2012. - № 3. - С. 20-22.
13. Азаров В. Н., Маринин Н. А., Жоголева Д. А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) в атмосфере городов [Текст] / В. Н. Азаров, Д. А. Жоголева, Н. А. Маринин // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. - 2011. - № 5(38). - Ч.2. - С. 144-149.
14. Александров, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях [Текст] / А. Н. Александров, Г.Ф. Козориз. – Москва: Лесная промышленность, 1988. – 280с.

15. Александров, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях: Справочник [Текст] / А. Н. Александров, Г. Ф. Козориз, под ред. А. Н. Александрова. – Москва: Лесная промышленность, 1988. – 248 с.
16. Андрианов, Е. И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов [Текст] / Е. И. Андрианов. – Москва: Химия, 1982. – 256 с.
17. Артюхин, А. С. Совершенствование режимно-конструктивных параметров аппаратов ВЗП в системах обеспыливающей вентиляции перегрузочных узлов строительных материалов [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03, 03.00.16 / Артюхин Александр Сергеевич. – Волгоград, 2007. – 184 с.
18. Артюхин, А. С. Сравнение аппаратов ВЗП и циклонов при очистке выбросов в атмосферу предприятий стройиндустрии [Текст] / А. С. Артюхин, А. В. Баев, А. С. Тюрин // Вест. ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. – Волгоград, 2006. – Вып. 6 (21). – С. 161-164.
19. Артюхин, А. С. Сравнение характеристик работы аппаратов со встречными закрученными потоками и циклонов при очистке выбросов в атмосферу предприятий стройиндустрии [Текст] / А. С. Артюхин, Н. С. Пономарева // XI региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, 11-14 ноября 2006 г. Направление №16 «Экология, охрана среды, строительство»: Тезисы докладов / Волгогр. гос. арх.-строит. ун-т. – Волгоград, 2007. – С. 55-58.
20. Артюхин, А. С. Экспериментальное исследование аппарата ВЗП с коническим нижним вводом [Текст] / А. С. Артюхин // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы IV Междунар. науч. конф., 14-18 мая 2006 г. – Волгоград: Волгогр. гос. арх.-строит. ун-т, 2006. – С. 189-192.
21. Артюхин, А. С. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания аппаратов ВЗП [Текст] / А.С. Артюхин, Н. С. Пономарева // Проблемы промышленной экологии: сб.

материалов и науч. тр. молодых инженеров-экологов. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. - С. 133-138.

22. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст]: учеб. пособие / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. - Москва: Высш. шк., 1985. - 327 с.

23. Батурич, В. В. Основы промышленной вентиляции [Текст] / В. В. Батурич. – Москва: Профиздат, 1990. – 448 с.

24. Беспалов, В. И. Теория и практика обеспыливания воздуха [Текст]. – Киев: Наукова думка, 2000. – 191 с.

25. Богуславский, Е. И. Жизнеобеспечение в окружающей среде [Текст]: учеб. пособие / Е. И. Богуславский. - Ростов-на-Дону: Ростов. гос. акад. стр-ва, 1992. - 111 с.

26. Богуславский, Е. И. Вероятностно-статистическая пылеаэромеханика процессов и аппаратов обеспыливания [Текст] / Е. И. Богуславский // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Сер.: «Технические науки». – 1988. – С. 137–140.

27. Богуславский, Е. И. Теория и расчет эффективности технических средств обеспыливания и разработка на их основе конструкций с вихревым режимом работы [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.17.18 / Богуславский Евгений Иосифович. – Ростов-на-Дону, 1991. – 590 с.

28. Богуславский, Е. И. Интенсивность выделения и накопления пыли в производственном помещении [Текст] / Е. И. Богуславский, В. Н. Азаров // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающая среда. – Ростов-н/Д: РИЦ Ростовской–на-Дону государственной академии сельхозмашиностроения, 1997. – С. 48-49.

29. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии [Текст]: учеб. пособие / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – Киев: Вища школа, 1976. – 184с.

30. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных предприятий [Текст] / М. И. Гримитлин [и др.]. – Москва: Изд-во «Машиностроение», 1993. – 296 с.
31. Вентиляция и отопление машиностроительных предприятий [Текст] / М. И. Гримитлин [и др.]. – Москва: Изд-во «Машиностроение», 1998. – 288 с.
32. Володин, А. Н. Пылеуловители инерционно-центробежного типа [Текст] / А. Н. Володин [и др.] // ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2002. – № 7. – С. 13-14.
33. Воронин, Ю. В. Пневмотранспорт измельченной древесины [Текст] / Ю. В. Воронин. - Москва: Лесная промышленность, 1977. - 207с.
34. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями деревообрабатывающей промышленности [Текст] / Под ред. Л. В. Тимофеевой. – Петрозаводск: «ЭКО-ПРОГНОЗ», 1992. – 66 с.
35. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
36. ГОСТ 12.3.042-88. Деревообрабатывающее производство. Общие требования безопасности [Текст] - Москва: Изд-во стандартов, 1988. - 19 с.
37. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения [Текст]. - Москва: Изд-во стандартов, 1991. - 12 с.
38. Градус, Л. Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии [Текст] / Л. Я. Градус. - Москва: Химия, 1979. - 232 с.
39. Гуревич, А. Н. Защита воздушного бассейна деревообрабатывающих предприятий [Текст] / Н. А. Гуревич, Л. А. Аксенов. – М.: ВНИИПИЭлеспром, 1982. – Сер.: Охрана окружающей среды. – Вып. 5. – 48с.
40. Даниленко, Н. В. Повышение эффективности пылеулавливания вихревого пылеуловителя [Текст] / Н. В. Даниленко. – Москва: Расчет и конструирование биотехнической аппаратуры, 1988.

41. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – Москва: Мир, 1981. – 250 с.
42. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента: учебное пособие [Текст] / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – Москва: Наука, 1987. – 320 с.
43. Ефремов, Г. И. Пылеочистка [Текст] / Г. И. Ефремов, Б. П. Лукачевский. – Харьков: Химия, 1990. – 72 с.
44. Забозлаев, Б. С. Условия безопасной работы в отдельных цехах мебельных предприятий [Текст] / Б. С. Забозлаев // Лесная промышленность. – 1975. – №7. – С. 13-14
45. Квашнин, И. М. Очистка воздуха от пыли [Текст]: учеб. пособие / И. М. Квашнин, Ю. И. Юнкеров. – Пенза: Пензен. гос. архит.-строит. ин-т, 1995. – 111 с.
46. Козориз, Г. Ф. Пневматические транспортные системы деревообрабатывающих предприятий [Текст] / Г.Ф. Козориз. – Львов: Вища школа, 1985. – 128 с.
47. Колмогоров, А. Н. О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении [Текст] / А. Н. Колмогоров // ДАН СССР. – 1941. – Т. 31. – №2. – С. 1030-1039.
48. Коузов П. А. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей [Текст] / П. А. Коузов, Л. Я. Скрыбина. – Ленинград: Химия, 1983. – 138 с.
49. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П. А. Коузов. – 3-е изд. перераб. – Ленинград: Химия, 1987. – 264 с.
50. Кузнецова, Н. С. Снижение воздействия на окружающую среду посредством совершенствования систем разделения пылевидных отходов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / Кузнецова Наталья Сергеевна. – Волгоград, 2002. – 196 с.

51. Кутепов, А. М., Вихревые процессы для модификации дисперсных систем [Текст] / А. М. Кутепов, А. С. Латкин. - Москва: Наука, 1999. - 272 с.
52. Лапкаев, А. Г. Древесная пыль - третий класс опасности [Текст] / А.Г. Лапкаев // Охрана труда и социальное страхование. – 2002. - № 10. - С. 55-57.
53. Лапкаев, А. Г. Создание безопасности и нормальных условий труда в процессах деревообработки по пылевому фактору [Текст] / А. Г. Лапкаев. Красноярск: РИО Сибирского государственного технологического университета, 2004. - 389 с.
54. Лапкаев, А. Г. Гигиенические требования к техническому обеспечению нормализации фактора древесной пыли, образующейся при проведении процессов деревообработки [Текст] / А. Г. Лапкаев // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. - № 6. - С. 18-22.
55. Лапкаев, А. Г. Древесная пыль: источники, свойства, классификация, опасность [Текст] / А. Г. Лапкаев, В. А. Рогов // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. - 2005.- №7. - С. 91-125.
56. Лапкаев, А. Г. Как улучшить условия труда в деревообработке [Текст] / А. Г. Лапкаев // Человек и труд. – 2005. - № 5. - С.86-87.
57. Лапкаев, А. Г. Создание безопасности и нормальных условий труда в процессах деревообработки по пылевому фактору [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук / Лапкаев Алексей Григорьевич. – Красноярск, 2006. – 320 с.
58. Луканин, Д. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование режимно–конструктивных характеристик вентиляционных систем с пылеуловителями на встречных закрученных потоках [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Денис Викторович Луканин. – Волгоград, 2015. – 180 с.
59. Максимов, Г. А. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления [Текст] / Г. А. Максимов, В. В. Дерюгин. – Ленинград: Стройиздат, 1972. -97 с.
60. Маринин, Н. А. Исследование дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах и выбросах в атмосферу предприятий

стройиндустрии[Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.19 / Маринин Никита Андреевич - Волгоград, 2014. - 165 с.

61. Медников, Е. П. Вихревые пылеуловители [Текст] / Е. П. Медников // Промышленная и санитарная очистка газов. - 1975. - Сер. ХМ-14. - С. 44.

62. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности (на основе удельных показателей) [Текст]. - Санкт-Петербург: АО «НИИ Атмосфера», 2015. - 41 с.

63. Механические свойства древесины [Электронный ресурс]. - Режим доступа: les.novosibdom.ru/node/1.

64. Неумержицкая, Н. В. О результатах оценки воздействия на качество атмосферного воздуха и об определении необходимой степени очистки пылевых выбросов асфальтобетонных заводов [Электронный ресурс] / М. В. Белоножко, Н. В. Неумержицкая, М. А. Николенко, Н. М. Сергина // Инженерный вестник Дона. - 2015. - №3. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

65. Неумержицкая, Н. В. Об оценке фракционного состава пыли при инвентаризации стационарных источников выбросов в производстве строительных изделий из древесины [Электронный ресурс] / Н. В. Неумержицкая, Н. М. Сергина // Инженерный вестник Дона. - 2016. - №3. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

66. Неумержицкая, Н. В. О малой опасности некоторых видов пыли в воздухе рабочей зоны и в атмосферном воздухе при производстве строительных материалов [Электронный ресурс] / В. П. Батманов, Д. С. Дружинина, В. А. Евсеева, Н. В. Неумержицкая, Н. М. Сергина // Инженерный вестник Дона. - 2017. - №1. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

67. Неумержицкая, Н. В. Оценка фракционного состава, формы частиц и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе [Электронный ресурс] / Н. В. Неумержицкая // Инженерный вестник Дона. - 2018. - №1. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

68. Неумержицкая, Н. В. Вопросы защиты воздушной среды на деревообрабатывающих предприятиях [Текст] / Д. С. Дружинина, Н. В. Неумержицкая // Среда, окружающая человека, природная, техногенная, социальная- VI. – Брянск: БГИТУ, 2017. - С. 227-230.
69. Неумержицкая, Н. В. Системы пылеулавливания с вихревыми аппаратами и результаты оценки ее эффективности [Текст] / Д. С. Дружинина, Н. В. Неумержицкая // I Европейская конференция посвященная достижениям и разработкам молодых ученых в естественных и технических науках. – 2017. – С. 80-86.
70. Неумержицкая, Н. В. О влиянии древесной пыли на природную среду при строительстве и эксплуатации объектов агропромышленного комплекса [Текст] / Д. С. Дружинина, Н. В. Неумержицкая, Н. М. Сергина // Успехи современной науки. – 2017. – Том 2. - №6. – С. 91-94.
71. Неумержицкая, Н. В. Системы пылеулавливания с вихревыми аппаратами и результаты оценки ее эффективности [Текст] / Н. В. Неумержицкая // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов, под редакцией В. Н. Азарова. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. - Вып. 8. – С. 92-94.
72. Неумержицкая, Н. В. Зависимость пылеулавливания аппаратов ВЗП от относительной концентрации очищаемой пылевоздушной смеси [Текст] / Н. В. Неумержицкая // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов, под редакцией В. Н. Азарова. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. - Вып. 8. – С. 95-97.
73. Неумержицкая, Н. В. Вероятностная модель движения и концентрации древесной пыли в атмосферном воздухе [Электронный ресурс] / Н. В. Неумержицкая // Материалы докладов международной конференции «Современные методы и проблемы теории операторов и гармонического анализа и их приложения – VII. Секция «Вероятностно-аналитические модели и методы». Ростов-на-Дону, 2017. – С. 140. – Режим доступа: http://otha.sfedu.ru/upload/documents/abstracts/_tethis_conf_2017_SFEDU.pdf.

74. Оборудование для систем отопления и вентиляции: каталог [Текст] / Москва: ООО «Мовен», 2002.
75. Отопление и вентиляция производственных помещений [Текст] / А. М. Гримитлин [и др.]. – Санкт-Петербург: Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2007. – 400 с.
76. Охрана воздушной среды на деревообрабатывающих предприятиях [Текст] / О. Н. Русак [и др.]. – Москва: Лесная промышленность, 1989. – 240с.
77. Пат. 21244384 Россия, МКИ В 01 Д 45/12, В 04 С 3/06. Вихревой пылеуловитель [Текст] / Азаров В. Н., Донченко Б. Т., Кошкарев С. А., Мартьянов В.Н. - №96119220/25 (025656); заявлено 26.06.96.
78. Планирование эксперимента [Текст] / Ю.П. Адлер Ю. В. [и др.]. - Отв. ред. Г.К. Круг, Моск. Энергетический ин-т.– Москва: Наука, 1966.– 423 с.
79. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха [Текст] / А. И. Пирумов. - Москва: Стройиздат, 1981. - 207 с.
80. Посохин, В. Н. Местная вентиляция [Текст]: учебное пособие / В. Н. Посохин. – Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2005. – 73 с.
81. Прикладная статистика: справочное издание [Текст] / С. А. Айвазян [и др.]; под ред. С. А. Айвазяна. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
82. Программа обработки изображений частиц DUST 1 [Текст]: а. с. о гос. рег. программы для ЭВМ DUST-1 № 2014618468 от 24.08.2014. № 2014616162; заявл. 26.06.2014; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 21.08.2014.
83. Пылеулавливающие агрегаты ПУАД –
(<https://yandex.ru/images/search?text=Пылеулавливающие агрегаты ПУАД>
[Электронный ресурс]%3А листок-каталог %3А разработчик и изготовитель
ООО НПП «Экоюрус-Венто»).
84. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Текст]. – Москва: Гидрометеиздат, 1991. – 635 с. (в редакции приказов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей

среды от 04.09.2014 г. №493, от 02.02.2016 г. ;46, от 02.02.2016 г. №47, от 02.02.2016 г. № 48).

85. Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции [Текст] / ЦНИИпромзданий. – Москва: Стройиздат, 1985. – 36 с.

86. Рогов, В.А. Влияние состава и свойств древесной пыли на режим работы и параметры централизованной пылеуборочной установки [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук. / Рогов Вадим Алексеевич - Красноярск, 1983. – 152с.

87. Россинская, М. В. Элементы экологического мониторинга, их краткая характеристика и влияние на качество окружающей природной среды и здоровье населения региона[Электронный ресурс] / М. В. Россинская, Н. П. Россинская // Инженерный вестник Дона. – 2012. - №1. Режим доступа: www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/586/.

88. Русак, О. Н. Борьба с пылью на деревообрабатывающих предприятиях [Текст] / О. Н. Русак, В. В. Молохов. - Москва: Лесная промышленность, 1975. - 151 с.

89. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов [Текст].- Москва, 2003.

90. Сергина, Н. М. Оценка эффективности пылеулавливающих аппаратов, применяемых на комбикормовых предприятиях [Текст] / Н. М. Сергина // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: Междунар. науч.-техн. конф. – Волгоград, 1997.– Секция II: Проблемы пыле- и газоулавливания.– С. 78.

91. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование[Текст]. – М.: Госстрой РФ, 2004.

92. Соловьева, О. С. Пылезадерживающая способность древесных растений в зонах разного загрязнения г. Йошкар-Олы [Текст] / О.С. Соловьева//

Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. Ч. 1.

Тольятти: ВуиТ, 2004. - С. 256 – 261.

93. Сорокин, В. В. Вентиляция на предприятиях строительных материалов [Текст] / В. В. Сорокин. – Саратов: Саратовский государственный университет, 1991. – 382 с.

94. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст] / Под общ. ред. А. А. Русанова. - 2 изд. перераб.- Москва: Энергоатомиздат, 1983. - 312 с.

95. Твердость древесины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tree-forest.ru/classification/tverdost-drevesiny-dereva.

96. Твердость древесины по Бриннелю [Электронный ресурс]. – Режим доступа: evrosteit.ru/tverdost_parketa.

97. Технология очистки газов [Текст]: учебное пособие / Л.Н. Григорьев [и др.]. – Ленинград: Ленинградская лесотехническая академия, 1981.

98. Циклоны СИОТ-М, СИОТ-М1. – (<http://www.evromash.ru>).

99. Шепелев, И. А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении [Текст] / И. А. Шепелев. - Москва: Стройиздат, 1978. – 145 с.

100. Шифрин, К. С. Методы исследования распределения по фракциям дисперсных систем [Текст]/К.С. Шифрин // Тр. ГГО им. А. И. Войкова. – 1995. – Вып. 46 (108). – С. 28–32.

101. Штокман, Е. А. Очистка воздуха [Текст]: учеб. пособие / Е. А. Штокман. - Москва: Изд-во АСВ, 1999. - 320 с.

102. Штокман, Е. А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Е. А. Штокман.– Москва: Агропромиздат, 1983.– 311 с.

103. Экба, С. И. Обеспечение безопасности воздушной среды помещений по производству деревянных строительных конструкций [Электронный ресурс] / С. И. Экба [и др.] // Интернет-вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Политехническая сер. – 2013. – Вып. 2(27). – Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.

104. Экба, С. И. Снижение запыленности воздуха рабочей зоны при производстве деревянных строительных конструкций [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Экба Сергей Игоревич. – Волгоград, 2015. – 150 с.
105. Kozlovtsseva, E. Yu. Analysis of the dust particles distribution and ventilation as a way to improve indoor air quality / V. N. Azarov, E. Yu. Kozlovtsseva, I. V. Stefanenko[Text] // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017, 10-13 April 2017: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Far Eastern State Transport University, Russian Federation, 2017. - Vol. 90. - 6 p. Режим доступа:
www.iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012025/pdf.
106. Neumerzhitskaya, N. V. Finite Element Modeling of the Creep of Shells of Revolution Under Axisymmetric Loading [Text]/ A. Chepurnenko, N. V. Neumerzhitskaya, M. Turko // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – V. 692. – pp. 808-817.
107. Pasquill, F. Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling [Text]: Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values / F. Pasquill. // EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, 1976. - 44 p.
108. Latorre,RovirosaMiquel. Estudio de dispersion de contaminantesatmosfericos en la planta de ElsMonjos de UnilandCementera[Text] /RovirosaMiquelLatorre, Casanovas MireiaTornos// Cem.–hormigon. - 2002. - № 807. - pp. 115-128.

Условные обозначения

t, τ	-	время, с (мин., ч, год);
F	-	площадь, м ² ;
G_0	-	плотность пылеоседания, г/(м ² ·ч);
f, B, b	-	коэффициенты;
H	-	высота, м;
d	-	диаметр, м (мкм);
d_q, δ	-	эквивалентный размер частиц;
$D(d_q)$	-	интегральная функция распределения массы частиц по диаметрам, %;
ε	-	коэффициент проскока;
ζ	-	коэффициент аэродинамического сопротивления;
P	-	давление, Па;
$f(d_q)$	-	дифференциальная функция плотности распределения массы частиц по диаметрам;
Φ_r	-	коэффициент формы частиц;
s	-	дисперсия;
F	-	критерий Фишера;
ϑ	-	скорость воздуха, м/с;
t	-	критерий Стьюдента;
Π	-	диспергируемость (пылящая способность);
V	-	объем, м ³ .
η	-	общая эффективность пылеочистки, %;
L	-	общий расход воздуха, м ³ /с;
L_n, K_n	-	расход воздуха, подаваемого в нижний ввод аппарата, м ³ /с;
α	-	угол наклона оси пылеуловителя к вертикальной оси;
ω	-	угловая скорость потока, 1/с;

r	-	радиальная координата пылевой частицы, м;
t	-	время движения частицы пыли, с;
ρ_{Γ}	-	плотность воздуха (газа), кг/м ³ ;
ρ	-	плотность материала частицы, кг/м ³ ;
d	-	диаметр частицы, м;
$R_{\text{ВЫХ}}$	-	радиус выходного патрубка аппарата, м;
$R_{\text{Н}}$	-	радиус корпуса аппарата, м;
ν	-	кинематическая вязкость воздуха, м ² /с;
$u_{\text{ВХ}}$	-	входная скорость газового потока в аппарат, м/с;
H	-	высота помещения, м;
V_y	-	условная скорость потока в плане аппарата, м/с;
ξ	-	коэффициент гидравлического сопротивления аппарата;
δ_{50}	-	медианный диаметр частиц, мкм;
Re	-	число Рейнольдса;
g	-	сила тяжести, м/с ² ;
P	-	гидростатическое давление потока, Па;
h, z	-	осевая координата, м;
φ	-	тангенциальная координата;
C	-	концентрация пыли, кг/м ³ ;
F_m	-	аэродинамическое сопротивление частицы пыли, Па;
τ	-	время релаксации, 1/с;
Re_d	-	число Рейнольдса для частицы пыли;
K_D, K_C	-	поправочные коэффициенты от диаметра ВЗП и от запыленности очищаемого воздуха соответственно;
σ	-	дисперсия;
$M_{\text{В}}$	-	масса загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, т/год;

Индексы

ч	-	частица;
э	-	эквивалентный;
ср	-	средний;
ос	-	оседание
крит	-	критический
m	-	табличное значение;
*	-	безразмерная величина.

Приложение А



ООО "ТАНДЕМ-ВП"

ИНН 6150033221 КПП 615001001 ОКВЭД 51.70 ОКПО 55519628
Р/сч 40702810700030000092 в Новочеркасском филиале ОАО «ФОНДСЕРВИСБАНКА»
К/сч 30101810200000000212 БИК 046043212

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «Тандем-ВП»
Холодильников П.М.
« 12 » 12 2017 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ научно-технической разработки

Настоящий акт составлен о том, что результаты исследований, выполненных Неумержицкой Н.В. и Сергиной Н.М., по возможности использования вихревых пылеуловителей в системах аспирации технологического оборудования по производству строительных материалов, внедрены на ООО «Тандем-ВП».

Расход очищаемого газа – 4000 м³/час, концентрация пыли на входе – до 1500 мг/м³. Проскок пыли в оптимальном режиме работы не превысил 29 мг/м³, то есть 2 %.

Испытания в течение 72 часов показали, что установка ВЗП-400 работает устойчиво и обеспечивает выполнение требуемых норм на границе санитарно-защитной зоны.

№	Наименование	Диаметр, мм	Общая пропускная способность по воздуху, м ³ /час	Эффективность очистки воздуха, в %, в пределах	Высота пылеуловителя, мм, не более	Масса пылеуловителя, кг, не более
I	ВЗП-400	400	4000	96-99 %	2138	160

От ДГТУ и ВолгГТУ

Зав. каф. ИЗСОС, д.т.н., проф. Беспалов В.И.
Доцент кафедры БЖДСиГХ Сергина Н.М.
Зав. каф. «Строительные материалы» Котляр В.Д.
Ассистент каф. ВМ Неумержицкая Н.В.

От ООО «Тандем-ВП»

Комм. директор Волков В.Н.
Гл. инженер Небежко Ю.И.

346421, Ростовская область, г.Новочеркасск, пр.Баклановский, 166
Тел.: (86352) 6-73-12; 66-100; факс (86352) 66-100
e-mail: tandem@e4u.ru

Приложение Б



ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»

Юридический адрес: 400 087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 10
Почтовый адрес: 400 087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 10
р/с 40702810311000000897 Волгоградское ОСБ №8621 г.Волгоград
БИК 041806647
к/с 30101810100000000647
ОГРН 1063444056356
ИНН 3444135069/ КПП 344401001

тел./факс: (8442) 37-97-01
37-12-76
Email: ptb2006@mail.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ научно-технической разработки


Настоящий акт составлен о том, что результаты исследований, выполненных Неумержицкой Н.В. и Сергиной Н.М., по возможности использования вихревых пылеуловителей в системах аспирации технологического оборудования по производству строительных материалов, внедрены на ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой».

Расход очищаемого газа — 4200 м³/час, концентрация пыли на входе — до 2000 мг/м³. Проскок пыли в оптимальном режиме работы не превысил 31 мг/м³, то есть 1,5 %.

Испытания в течение 72 часов показали, что установка ВЗП-400 работает устойчиво и обеспечивает выполнение требуемых норм на границе санитарно-защитной зоны.

№	Наименование	Диаметр, мм	Общая пропускная способность по воздуху, м ³ /час	Эффективность очистки воздуха, в %, в пределах	Высота пылеуловителя, мм, не более	Масса пылеуловителя, кг, не более
1	ВЗП-400	400	4100	96-99 %	2138	160

От ВолГТУ и ДГТУ

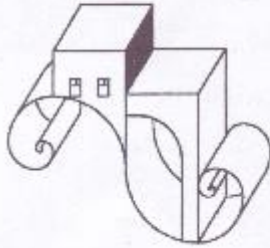
Доц.кафедры БЖДСиГХ, к.т.н.  Сергина Н.М.
Ассистент каф. ВМ  Неумержицкая Н.В.

От ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»

Зам. директора, к.т.н.  Яшин А.П.
Гл. инженер  Хабдаров С.А.



Приложение В

**Общество с ограниченной ответственностью****«Диара»**

ИНН 6149018772, КПП 614901001, ОГРН 1136173000127,
 р/с 40702810452090097668 в Филиале Открытого акционерного общества
 «Сбербанк России» - Миллеровское отделение (на правах отдела)
 Ростовского отделения № 5221 ОАО «Сбербанк России»
 к/с 30101810600000000602, БИК 046015602, ОКПО 12149196
 346132, Ростовская область, г. Миллерово, ул. 3 Интернационала, 31-б
 Тел/ факс: (86385) 2-56-76, 3-00-94, 3-11-64, 2-98-65

«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «Диара»
 Громов А.А.
 « 19 » 2017 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
научно-технической разработки

Настоящий акт составлен о том, что рекомендации, предложенные ассистентом Донского государственного технического университета Неумержицкой Н.В. и доцентом Волгоградского государственного технического университета Сергиной Н.М., по снижению выбросов пыли в атмосферу в цехе по производству сорбентов позволили снизить эти выбросы на 14%, а также добиться концентрации древесной пыли на границе санитарно-защитной зоны менее 0,5 мг/м(3).

От ДГТУ и ВолгГТУ

Зав. каф. ИЗОС,
 д.т.н., проф.
 Доц. каф.
 БЖДСиГХ
 Зав. каф.
 «Строительные
 материалы»
 Ассистент каф.
 ВМ

Беспалов В.И.
 Сергина Н.М.
 Котляр В.Д.
 Неумержицкая Н.В.

От ООО «Диара»

Гл. инженер Тарасов А.В.
 Гл. технолог Яцкая Ю.В.