

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



АГАРКОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЗАПЫЛЕННОГО  
ВОЗДУХА ПЫЛЕОСАДИТЕЛЕМ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА С  
РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
профессор, д-р техн. наук Р.Р. Шарапов



Москва–2022

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗАПЫЛЕННОГО ВОЗДУХА.....	10
1.1. Состояние средств и технологий очистки запыленного воздуха.....	10
1.2. Направления развития аппаратов и технологий очистки запыленного воздуха.....	24
1.3. Направления конструктивно – технологического совершенствования пылеосадителей инерционного типа.....	30
1.4. Цель и задачи исследований.....	37
1.5. Выводы .....	40
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ПЫЛЕОСАДИТЕЛЕ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА.....	41
2.1. Одномерное уравнение динамики потока воздуха.....	41
2.2. Двумерные уравнения динамики потока воздуха в пылеосадителе.....	50
2.3. Пространственное движение воздуха в пылеосадителе .....	56
2.4. Уравнение движения взвешенной в потоке воздуха частицы в пылеосадителе .....	61
2.5. Удар частицы о лопатку .....	68
2.6. Гидравлическое сопротивление пылеосадителя.....	71
2.7. Эффективность осаждения частиц.....	77
2.8. Выводы.....	79
3. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	81
3.1. План экспериментальных исследований .....	81
3.2. План проведения многофакторного эксперимента .....	82
3.3. Методики проведения исследований.....	86

3.4. Стендовая установка пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.....	87
3.5. Модель пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.....	90
3.6. Выводы.....	94
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЫЛЕОСАДИТЕЛЯ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	95
4.1. Эффективность пылеулавливания в пылеосадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами .....	95
4.2. Гидравлическое сопротивление пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами .....	118
4.3. Выводы.....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	154

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность темы диссертации.* В современном мире загрязнение воздуха от промышленного производства является проблемой для экологии всего мира. А с учетом накопившихся загрязнений за предыдущие годы это уже может перерасти в катастрофу.

Эту проблему активно взялись решать не только на международном уровне, вводя ужесточения по экологии производства, но и сами предприятия, а также многие ученые, работающие в этой сфере. Для уменьшения выбросов в атмосферу вредных веществ на производственных предприятиях разрабатываются новые, либо модернизируются комплексы по улавливанию пыли.

По своему составу выбрасываемая в атмосферу пыль имеет полидисперсный состав. Поэтому при очистке воздуха необходимо улавливать как крупную фракцию, так и мелкую. На первой стадии улавливают крупные частицы, а на последующих, более мелкие. При загрязнении фильтра резко уменьшается эффективность пылеочистки и резко повышается его гидравлическое сопротивление. Очистка при этом не происходит. В связи с этим необходимо на первых стадиях очистки уловить как можно больше крупных взвешенных частиц до конечного этапа очистки – фильтрации, чтобы увеличить эффективность всего комплекса в целом. Поэтому на первых стадиях очистки устанавливают оборудование для улавливания как можно большего количества пыли.

Одним из таких аппаратов может являться пылеосадитель инерционного типа, используемый в строительной промышленности, например, производство строительных материалов, а также в других отраслях промышленности. Существующие пылеосадители имеют статическую конструкцию и процесс пылеочистки регулируется только расходом воздуха. Важной задачей является разработка пылеосадителя способного за счет управления конструктивно-технологическими параметрами аппарата повышать эффективность очистки запыленного воздуха.

Таким образом, разработка конструкции пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, позволяющего совершенствовать процесс очистки запыленного воздуха, является актуальной задачей диссертационного исследования и имеет важную практическую значимость.

**Степень разработанности темы.** Теоретической основой для проведения исследования стали работы Ю.В. Красовицкого, И.Е. Идельчика, Н.М. Самохвалова, И.Н. Логачева, К.И. Логачева, Л.В. Чекалова, С.Ю. Кабанова, Ю.Г. Овсянникова, В.Г. Шапталы и др. Информационной базой стали книги, монографии, научные труды, статьи в сборниках научных трудов и научно-технических конференций по исследуемой проблеме.

В приведенных ранее исследованиях изучены различные варианты конструкций пылеочистного оборудования, в том числе инерционного типа, исследованы их конструктивно-технологические параметры, предложены и обоснованы теоретические и методологические аспекты их расчета и проектирования. Исследований рассматриваемого в данной работе пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами ранее не проводилось.

**Цель работы** – разработка конструкции пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, обеспечивающего повышение эффективности очистки запыленного воздуха.

**Объектом исследования** являлся лабораторный пылеосадитель инерционного типа с регулируемыми параметрами.

**Предмет исследования** – закономерности процесса осаждения запыленного воздуха в пылеосадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами.

**Научная гипотеза.** Эффективность работы пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами может быть повышена за счет управления процессом осаждения грубодисперсных частиц.

**Задачи исследования:**

1. Разработать конструкцию пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, обеспечивающего повышение эффективности очистки запыленного воздуха.

2. Разработать математическую модель пылесадителя инерционного типа, позволяющую исследовать влияние изменения параметров его работы на эффективность очистки запыленного воздуха.

3. Исследовать влияние конструктивно-технологических параметров пылесадителя инерционного типа на его эффективность очистки запыленного воздуха.

4. Аналитически доказать, что предлагаемая конструкция пылесадителя инерционного типа позволяет повысить эффективность очистки запыленного воздуха и качество готового продукта.

5. Исследовать многофакторное воздействие параметров пылесадителя инерционного типа на его выходные характеристики.

6. Разработать рекомендации для реализации результатов работы в промышленных условиях.

***Научная новизна работы представлена*** в решении задачи об определении скорости и давления потока воздуха в пылесадителе в одномерной, плоской и трехмерной постановке с учетом сложной геометрической формы исследуемого объекта; получении математической модели движения твердых частиц в турбулентном потоке воздуха, учитывающую взаимодействие частиц с отражающими лопатками; получении аналитического решения задачи об осаждении частицы в пылесадителе инерционного типа, учитывающее абсолютно упругий удар частицы о лопатку; предложенных и экспериментально подтвержденных аналитических зависимостей эффективности и гидравлического сопротивления от факторов, характеризующих процесс пылеочистки в пылесадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами; получении уравнений регрессии, позволяющих определить конструктивно-технологические параметры работы пылесадителя инерционного типа; в создании патентно-чистых конструкций пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, новизна которых подтверждена патентом на изобретение и полезную модель РФ.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке математических моделей, описывающих процесс очистки запыленного воздуха в пылесадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами; создании конструкции пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, обеспечивающей повышение эффективности очистки запыленного воздуха выше 90 %; разработке инженерной методики и соответствующего программного обеспечения расчета разработанного пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

Практические результаты работы защищены патентами. Полученные результаты исследований используются в учебном процессе при чтении лекций, выполнения курсовых проектов, работ и в дипломном проектировании НИУ МГСУ, а также приняты для внедрения в промышленных условиях на пылеочистном оборудовании компании Danterm Filtration GmbH сушильного барабана стационарного асфальтового завода компании BENNINGHOVEN MBA-3000 в качестве аппарата первой стадии очистки запыленного воздуха.

**Методы исследования.** Общая концепция исследований построена на комплексе теоретических и экспериментальных методов, включающих математическое и компьютерное моделирование с целью подтверждения разработанной конструкции пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, оценку сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также методы математической статистики.

***Положения, выносимые на защиту:***

1. Решение задачи об определении скорости и давления потока воздуха в пылесадителе инерционного типа в одномерной, плоской и трехмерной постановке с учетом сложной геометрической формы исследуемого объекта.
2. Математическую модель движения твердых частиц в турбулентном потоке воздуха с учетом взаимодействия частиц с отражающими лопатками.
3. Аналитическое решение задачи об осаждении частицы в пылесадителе инерционного типа.

4. Аналитические зависимости эффективности и гидравлического сопротивления от факторов, характеризующих процесс пылеочистки в пылеосадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами.

5. Уравнения регрессии, позволяющие определить конструктивно-технологические параметры работы пылеосадителя инерционного типа.

6. Патентно-чистую конструкцию пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, предназначенного для очистки от пыли запыленного воздуха.

***Степень достоверности полученных результатов.*** Достоверность исследований обеспечивается применением современных математических методов исследований; достоверной аргументированностью принятых допущений; экспериментальных исследований; сравнением теоретических результатов, полученных на основе имитационного моделирования, с результатами экспериментальных данных; удовлетворимой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

***Апробация результатов работы.*** Основные положения диссертации и практические результаты обсуждались и получили одобрение на: Международной научно-практической конференции «Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений» (Белгород, 2013 г.), Научно-практической конференции «Фундаментальные исследования в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области» (Белгород, 2013 г.), XVIII Московской международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы» (Москва, 2014 г.), Международной научно-практической конференции, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс» (Старый Оскол, 2014 г.), Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования» (Тамбов, 2015 г.), Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2015» (Казань, 2015 г.), Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2016» (Москва, 2016 г.),

Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2018» (Москва, 2018 г.), VI International Scientific Conference INTEGRATION, PARTNERSHIP AND INNOVATION IN CONSTRUCTION SCIENCE AND EDUCATION (Москва, 2018 г.), Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2021» (Москва, 2021 г.), заседаниях кафедры механизации строительства НИУ МГСУ.

***Соответствие диссертации паспорту научной специальности.***

Диссертация соответствуют пункту 1 «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов; механизации производства в соответствии с современными требованиями внутреннего и внешнего рынка, технологии, качества, надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности», пункту 3 «Теоретические и экспериментальные исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций», пункту 5 «Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и процессов и оценки их экономической эффективности и ресурса» паспорта специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы» (строительство).

***Публикации.*** По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе в аннотированных ВАК РФ изданиях – 8, в изданиях из списка SCOPUS и Web of Science – 5.

***Личный вклад соискателя.*** Весь объем экспериментов был проведен непосредственно автором. Все разделы диссертационной работы выполнены лично автором. Выводы по результатам работы сформулированы самостоятельно.

***Структура и объем работы.*** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, библиографического списка (129 наименований) и приложений, которые включают результаты технического совещания ООО «Трансстроймеханизация». Общий объем диссертации составляет 170 страниц, содержащих 140 страниц основного текста, включающего 66 рисунков и 4 таблицы.

# 1. АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗАПЫЛЕННОГО ВОЗДУХА

## 1.1. Состояние средств и технологий очистки запыленного воздуха

В современном мире в атмосферу выбрасывается огромное количество различных соединений. Источниками таких соединений являются промышленные предприятия, в том числе строительные производства, а также автотранспорт, различные природные явления. С каждым годом объем строительного производства увеличивается и соответственно возрастает количество таких выбросов в атмосферу [33, 39, 55, 68, 69, 76, 81, 82, 88, 101, 107, 114, 123].

Для уменьшения влияния на атмосферу строительного производства, а точнее выбросов от них, используются различного рода пылеуловители [12, 23, 35, 36, 40, 44-46, 51, 53, 54]. По способу выделения пыли из потока воздуха оборудование применяют в следующих конструктивных исполнениях: для улавливания пыли по сухому способу, при этом выделенная из потока воздуха пыль осаждается на сухую поверхность; для улавливания пыли мокрым способом, при этом выделение частиц пыли из воздушного потока происходит с использованием различных жидкостей [58, 60, 65, 67, 79, 80, 89, 94, 110-113, 115].

Согласно ГОСТу 12.2.043-80 оборудование для улавливания пыли классифицируется по схеме, приведенной на рисунке 1.1. На схеме также указан вид дополнительного оборудования для улавливания пыли – биофильтр, применяемый для очистки выбросов от ряда органической пыли.

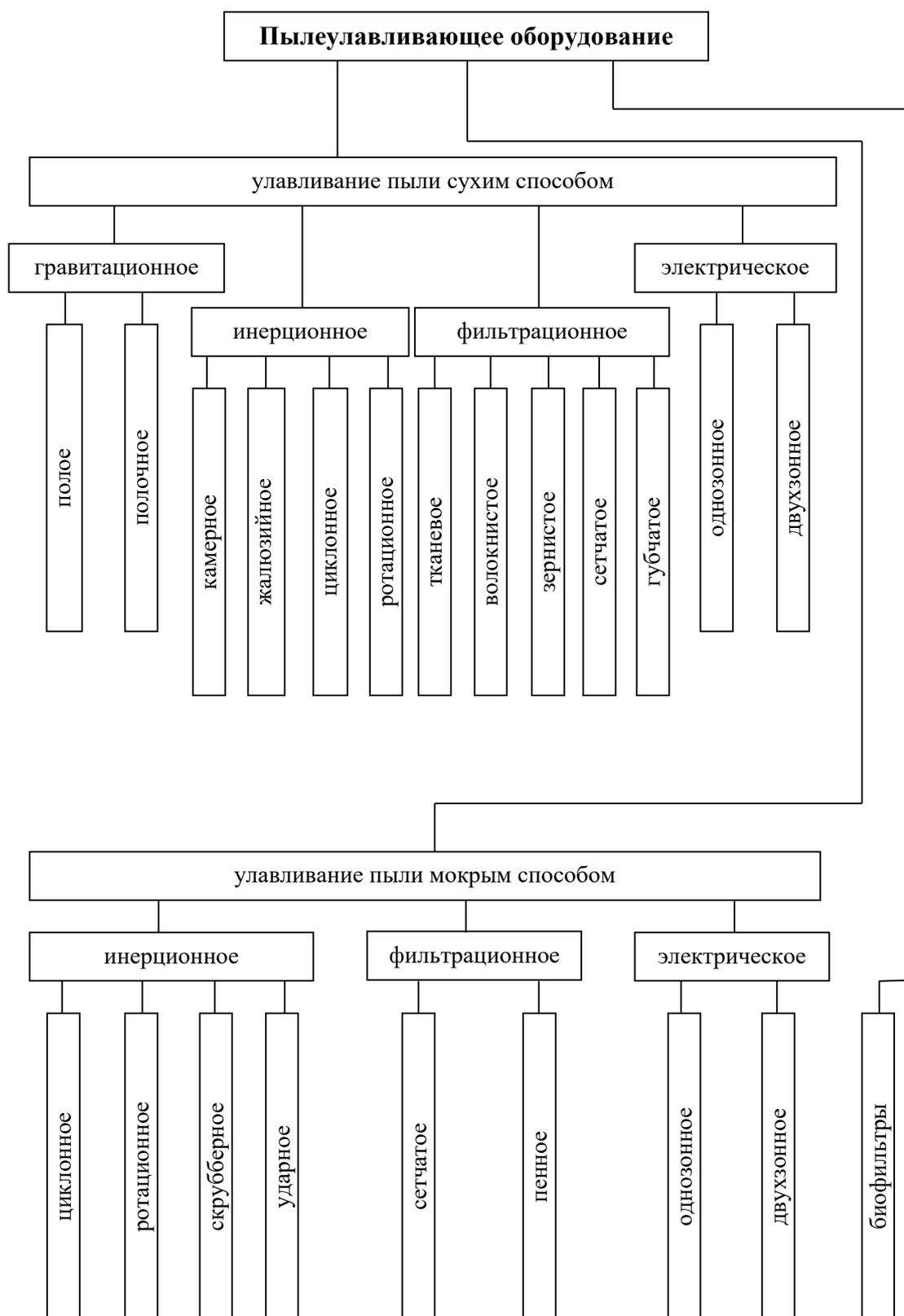


Рисунок 1.1 – Схема классификации пылеулавливающих аппаратов

Существует 5 классов на которые делят все воздухоочистные устройства в зависимости от эффективно улавливаемого размера частиц (таблица 1.1) [66, 72, 79, 104].

Таблица 1.1 – Классификация пылеуловителей по эффективности очистки газов

Класс пылеуловителя	Размер улавливаемых частиц, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность, %
I	Более 0,3...0,5	V	< 80
		IV	80...99,9
II	Более 2	IV	45...92
		III	92...45
III	Более 4	III	29...80
		II	99...99,9
IV	Более 8	II	95...99,9
		I	> 99,9
V	Более 20	I	> 99

К простейшим пылеулавливающим устройствам можно отнести пылесадительные камеры [66, 72, 79, 89, 101, 104]. Принцип их действия основывается на осаждение частиц пыли под действием сил тяжести, также этот способ по-другому называется гравитационным осаждением частиц. В этом случае запыленный воздух движется с некоторой скоростью по газоходу, после он проходит в камеру с большей площадью поперечного сечения, в следствии чего скорость потока резко уменьшается и частицы пыли выпадают под действием сил тяжести.

Основными размерами камеры являются ширина и высота, которые выбираются, исходя из конструктивных соображений, почти одинаковыми. При этом для наибольшей эффективности необходимо увеличивать время нахождения частиц запыленного воздуха и при этом уменьшать скорость движения всего потока. Наибольшая эффективность пылесадительных камер не превышает 50 %.

На рисунке 1.2 изображены пылесадительные камеры горизонтального типа.

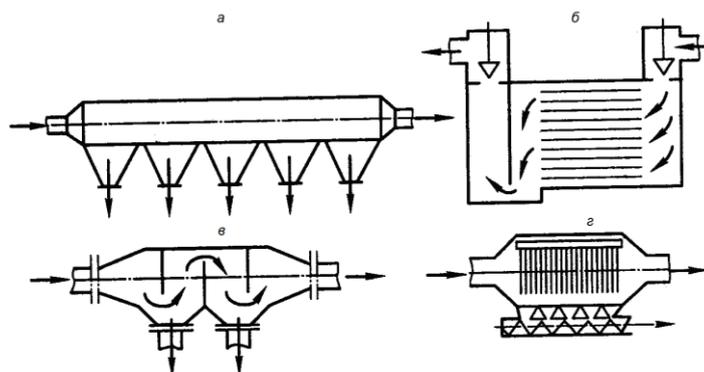


Рисунок 1.2 – Пылеосадительные камеры горизонтального типа: *а* – простейшая схема; *б* – многополочная схема; *в* – схема с вертикальными перегородками; *г* – схема с проволочными или цепными завесами

Для достижения наибольшей эффективности в данном оборудовании применяют установку горизонтальных (см. рисунок 1.2, *б*) и вертикальных (см. рисунок 1.2, *в*) перегородок, а также на пути потока запыленного воздуха навешивают различные препятствия (см. рисунок 1.2, *г*). В этом случае эффективность увеличивается за счёт появления дополнительных сил инерции, но гидравлическое сопротивление также будет увеличиваться, что приведет к повышенному энергопотреблению всей системы.

В пылеосадительных камерах вертикального типа, скорость движения потока запыленного воздуха ниже скорости осаждения частиц пыли [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71, 74, 89, 101, 104]. Подобные камеры по сравнению с горизонтальными, занимают гораздо меньшую площадь, однако принимая во внимание вертикальное расположение, такие камеры сложны в обслуживании и изготовлении.

На практике средняя скорость движения потока запыленного воздуха в пылеосадительных камерах составляет 0,2-3 м/с. Что же касается пылеосадительных камер горизонтального типа с использованием перегородок и навесных препятствий, то скорость в этих камерах составляет 0,2-0,8 м/с [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

Преимущества пылеосадительных камер заключается в следующем: низкая стоимость, небольшой расход электроэнергии, простота конструкции,

возможность улавливания абразивной пыли. Помимо этого, процесс пылеулавливания в данных камерах не подвержен влиянию температуры, при этом обеспечивается улавливание пыли в сухом виде. Частицы пыли размером 30-50 мкм в пылеосадительных камерах улавливаются достаточно эффективно. При улавливании относительно мелкой пыли высокая эффективность достигается при очень больших размерах пылеосадительных камер. Однако при размере частиц пыли менее 5 мкм эффективность близка к нулю даже при больших размерах пылеосадительных камер.

Недостатки пылеосадительных камер заключаются в следующем: низкая эффективность пылеочистки, при этом гидравлическое сопротивление имеет также незначительные значения; громоздкость, в следствии чего их не часто применяют в системы пылеулавливания в качестве самостоятельных элементов.

В строительной промышленности пылеосадительные камеры применяют на предварительной стадии очистки запыленного воздуха для улавливания крупных частиц пыли (более 100 мкм), а также для уменьшения нагрузки на оборудования следующих стадий очистки, поэтому их часто применяют в качестве составных элементов оборудования технологического назначения [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

Для увеличения эффективности очистки запыленного воздуха от частиц размером 25-30 мкм используют пылеуловители инерционного типа, принцип работы которых основан на резком изменении направления движения потока запыленного воздуха, при этом скорость этого потока около 1 м/с, а эффективность составляет 60-95%, гидравлическое сопротивление варьируется от 150 до 500 Па. Эти пылеуловители также используются в основном на первой стадии очистки запыленного воздуха [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71, 74, 89, 101].

На рисунке 1.3 показан пылеуловитель жалюзийного типа конструкции ВТИ.

Пылеуловитель состоит из жалюзийной решетки, где происходит выделение частиц пыли из потока запыленного воздуха, и гидроциклона, где данные частицы пыли улавливаются. Поток запыленного воздуха огибает пластины и при этом

резко изменяет направление движения, в следствии чего из потока запыленного воздуха выделяются частицы пыли [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

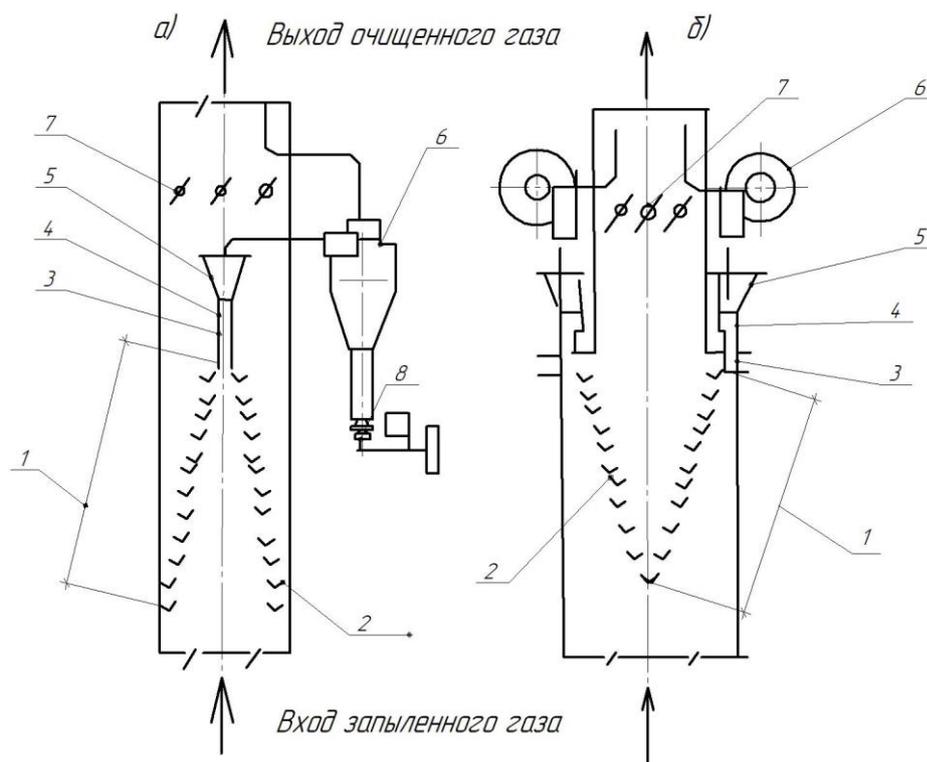


Рисунок 1.3 – Пылеуловитель жалюзийного типа конструкции ВТИ: а – с центральной отсосной щелью, б – с боковой отсосной щелью, 1 – жалюзийная решетка; 2 – лопасть; 3 – отсосная щель; 4 – диффузор; 5 – переходной патрубок; 6 – циклон; 7 – заслонка; 8 – мигалка

Вертикальный жалюзийный пылеуловитель конического типа (рис. 1.4) имеет большую эффективность по сравнению с горизонтальными пылеуловителями. Поток запыленного воздуха изменяет направление своего движения при проходе через щели усеченного конуса. Это происходит как в первом, так и во втором коллекторе. При увеличении скорости потока запыленного воздуха до 15 м/с будет увеличиваться и эффективность пылеулавливания, однако дальнейшее увеличение скорости потока приведет к уменьшению эффективности, так как начинает значительно возрастать гидравлическое сопротивление пылеуловителя [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

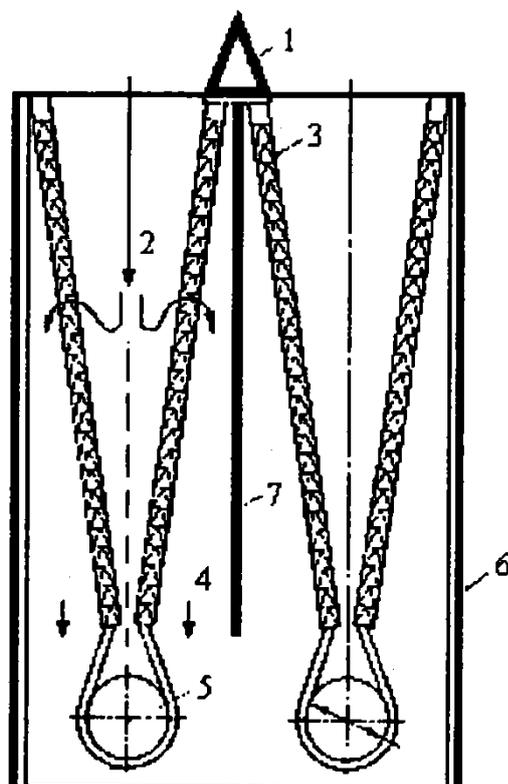


Рисунок 1.4 – Вертикальный жалюзийный пылеуловитель конического типа: 1 – призма для защиты соединительного узла; 2 – поток запыленного воздуха; 3 – уголки; 4 – очищенный воздух; 5 – пылесборник; 6 – корпус; 7 – перегородка

К недостаткам пылеуловителей жалюзийного типа можно отнести следующее: невозможность их применения в системах пылеочистки в качестве самостоятельного оборудования; при высокой концентрации запыленного воздуха происходит быстрое изнашивание пластин решетки, а также возможное появление отложений при охлаждении потока запыленного воздуха до точки росы.

При необходимости отделения относительно крупной пыли из запыленных воздушных потоков используют циклоны [23, 36, 51, 54, 62, 66, 71, 74, 76, 79, 89, 101, 104], основной принцип работы которых заключается в действии центробежных сил на частицы потока запыленного воздуха, которые возникают при вращении этого потока внутри циклона.

Поток запыленного воздуха со скоростью 20-25 м/с направляется в патрубок 1, далее он совершает 2-3 оборота вокруг цилиндрической 3 и конической 2

частей, после поток запыленного воздуха разворачивается и направляется на выход (рисунок 1.5). В процессе вращения под действием центробежных сил частицы пыли направляются к стенкам циклона, у них уменьшается скорость, и они падают в бункер [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

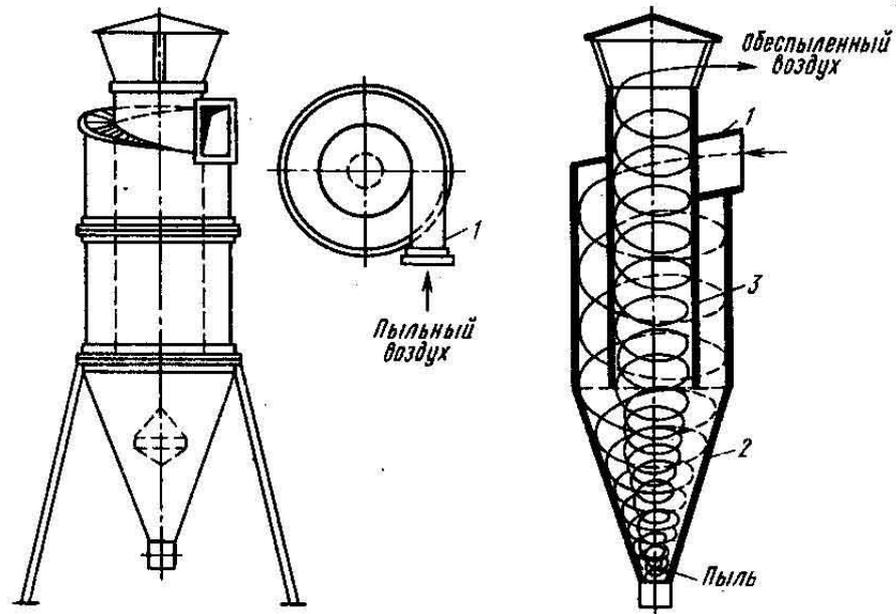


Рисунок 1.5 – Циклон: 1 – патрубок; 2 – коническая часть; 3 – цилиндрическая часть

Существуют различные способы подвода потока запыленного воздуха в циклонах, такие как спиральный, тангенциальный, винтовой, осевой (рисунок 1.6).

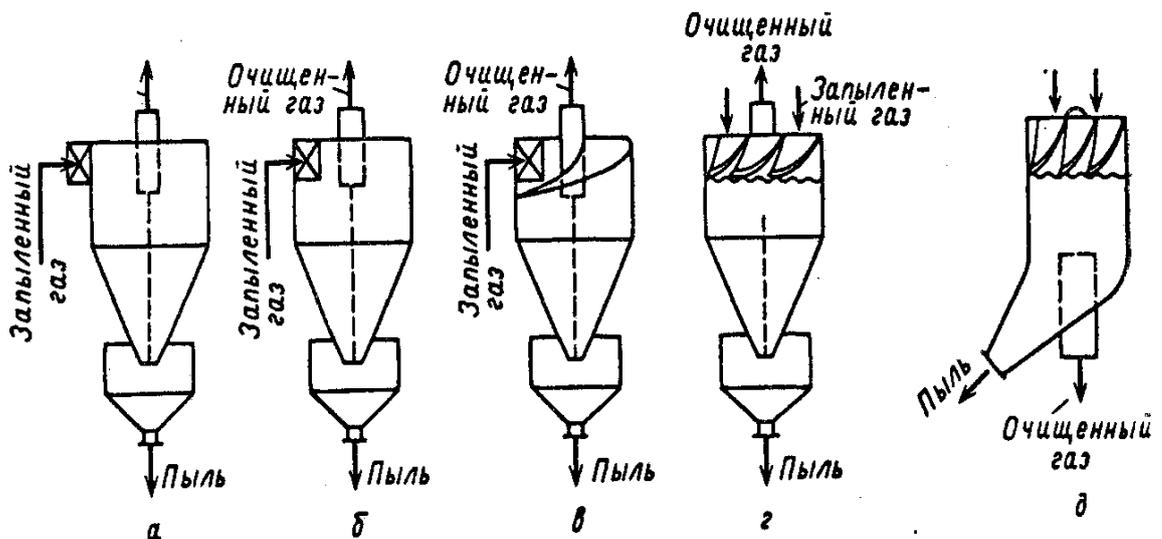


Рисунок 1.6 – Способы подвода газов в циклонах: а – спиральный; б – тангенциальный; в – винтовой; г, д – осевой

Все конструкции циклонов имеют определенные преимущества [23, 36, 66, 71, 89, 101, 104], такие как: гидравлическое сопротивление постоянно; работа при температуре до 500 °С и при высоком давлении; отсутствие движущихся частей; работа при запыленности до 1 кг/м<sup>3</sup>; дешевая эксплуатация и изготовление.

Недостатками циклонов являются следующие признаки: гидравлическое сопротивление достигает значений в 2000 Па, а также не высокая эффективность улавливания частиц пыли меньше 5 мкм.

Наибольшее применение в строительной промышленности получили различные типы конструкций циклонов, представленных ниже.

*Циклоны конструкции НИИОгаза* (рисунок 1.7, а), которые имеют цилиндрическую часть удлиненную, а также входной патрубок имеет угол наклона 11°, 15° и 24°. Эти циклоны широко используются при достижении оптимального соотношения между эффективностью работы циклона и его гидравлическим сопротивлением [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

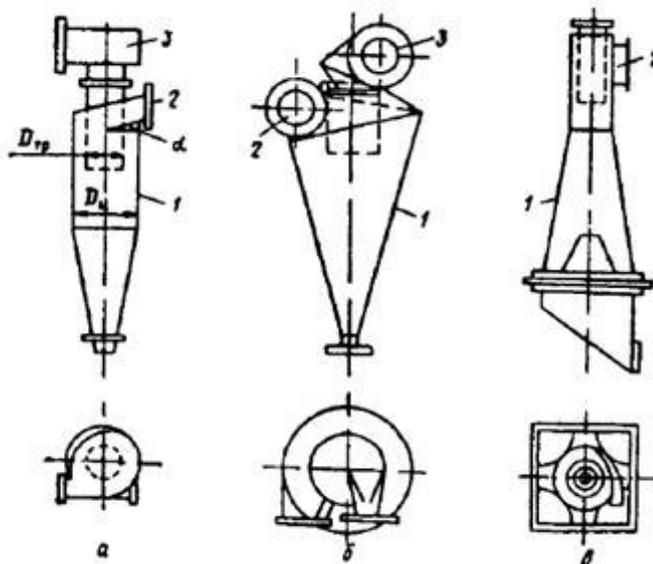


Рисунок 1.7 – Конструкций циклонов: а – циклон НИИОГаза; б – циклон СИОТ; в – циклон ВЦНИИОТ; 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выходная улитка

Конические циклоны имеют маленькое отношением диаметра выхлопной трубы к цилиндрической части и удлиненную коническую часть.

Циклоны конической конструкции относятся к высокоэффективному оборудованию, диаметр которых обычно не превышает 3000 мм. Циклоны цилиндрической конструкции относятся к высокопроизводительному оборудованию, диаметр которых не превышает 2000 мм.

В циклонах конструкции СИОТ (рисунок 1.7, б) имеется треугольная форма входного и отводящего патрубков, а также отсутствует цилиндрическая часть. Данные циклоны используют для улавливания неслипающейся пыли, а также сухой неволокнистой пыли [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

Циклоны конструкции ВЦНИИОТ (рисунок 1.7, в) имеют расширяющийся конус. Основное преимущество – это перекрытие центральной зоны разряжения внутренним обратным конусом в следствии чего отсутствуют подсосы воздуха внутрь конструкции. Данные циклоны используются для очистки потоков запыленного воздуха от слабослипающихся частиц пыли [24, 36, 47, 52, 55, 71].

В циклонах Крейзеля (рис. 1.8) имеется полый конус в вершине которого находится отверстие. Этот конус установлен в нижней части корпуса циклона. Циклоны Крейзеля чаще всего используются в технологических линиях производства цемента [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

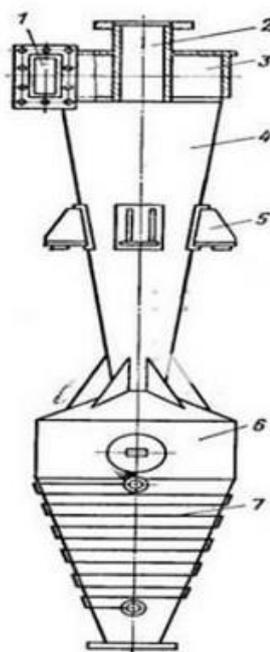


Рисунок 1.8 – Циклон Крейзеля: 1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – улитка; 4 – конус; 5 – опорные стойки; 6 – бункер; 7 – подогреватель

Эффективность циклонов снижается по мере увеличения расхода запыленного воздуха, при неизменной скорости потока на входе, так как уменьшаются центробежные силы, действующие на частицы пыли в потоке запыленного воздуха. В таких случаях используют батарейные циклоны (рисунок 1.9) для обеспечения высокой эффективности пылеочистки. Они представляют собой параллельно установленные циклоны меньшего диаметра [23, 36, 66, 71, 101, 104].

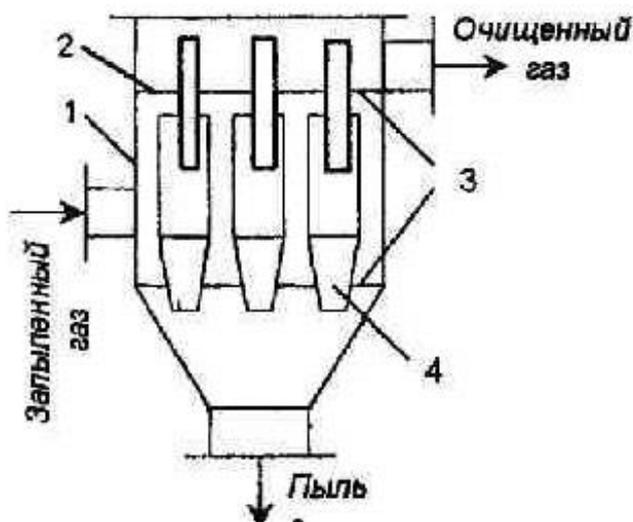


Рисунок 1.9 – Батарейный циклон: 1 – корпус; 2 – распределительная камера; 3 – решетки; 4 – циклонный элемент

Компоновка батарейных циклонов осуществляется двумя способами. Первый – рядный, циклонные элементы располагаются последовательно в несколько рядов. Второй – круговой, при котором циклонные элементы располагаются вокруг коллектора для подачи запыленного и отвода очищенного воздуха.

В батарейных циклонах гидравлическое сопротивление на 10 % больше, а также эффективность улавливания выше большей занимаемой площади и меньшей высоты самой установки [24, 36, 47].

Недостатки батарейных циклонов: неэффективное улавливание частиц размером меньше 5 мкм, высокий удельный расход энергии на очистку, большая металлоемкость конструкции.

Для повышения эффективности очистки запыленного воздуха в строительной и других отраслях промышленности используют специальные фильтры, принцип действия которых основан на прохождении потока запыленного воздуха через слой пористого материала [23, 36, 47, 66, 71, 89, 101].

Одним из таких фильтров являются тканевые фильтры, которые используются для тонкой очистки запыленного воздуха. В них поверхность фильтрации выполнена в виде рукавов. Они способны работать с запыленным воздухом температурой до 300°C.

Рукавные фильтры имеют следующие различительные особенности в конструкции: способ подвода потока запыленного воздуха; механизм регенерации; форма фильтровальных элементов и используемый тип ткани; количество секций и т.д. [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

В НИИЦемент разработана конструкция фильтра ФРО [79, 89, 101], который имеет рукава стекловатные длиной около 10000 мм. Количество секций в нем варьируется от 6 до 14, при этом расчётная производительность составляет 65...1300 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Данная конструкция применяется при улавливании пыли из отходящих от вращающихся клинкерообжиговых печей дымовых газов.

Применение ткани определенного типа влияет на концентрацию исходного потока запыленного воздуха и может достигать 0,45 кг/м<sup>3</sup>. Помимо этого рукавные фильтры с механическим встряхиванием рукавов используются при небольшой скорости фильтрации равной 0,5...1,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин), чтобы исключить значительный износ ткани рукавов и избежать вторичный унос пыли.

Импульсная регенерация фильтрующих элементов является надёжной и эффективной системой, которая обеспечивает автономность и работоспособность его работы. Она происходит за счет осушенного и очищенного от масла, влаги и пыли сжатого воздуха под давлением 350-600 кПа. При применении данной системы регенерации можно использовать ткани с большей плотностью, за счет чего происходит увеличение скорости фильтрации до 1,2...2,0 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин). На регенерацию элементов рукавных фильтров необходим расход сжатого воздуха, не превышающего 0,1-0,2 % от общего объема запыленного воздуха. Импульсная

регенерация происходит без остановки рабочего цикла, то есть автоматически [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

Также в рукавных фильтрах для тонкой очистки при работе с большими объемами запыленного воздуха применяется обратная продувка кольцевой струей сжатого воздуха, при этом скорость фильтрации варьируется от 3 до 8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин).

Один из основных параметров рукавных фильтров – это гидравлическое сопротивление, которое зависит от времени фильтрации и от типа применяемой ткани, и составляет 500-8000 Па. Эффективность улавливания пыли рукавными фильтрами составляет 96-99% и выше.

В недостатках данного оборудования следует выделить: дорогие фильтрующие элементы при малом их сроке службы, значительный расход электроэнергии, сложность конструкции, восприимчивость к изменениям условий работы.

Ряд специалистов более совершенным считают электрический метод очистки запыленного воздуха [47, 71, 89, 101, 104]. При этом методе эффективность очистки запыленного воздуха достигает 99,5%, при этом расход электроэнергии составляет 100-850 Вт·ч на 100 м<sup>3</sup> воздуха, а его гидравлическое сопротивление не превышает 300 Па [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

Во время работы электрофильтра запыленный воздух проходит через электрическое поле, которое создается электродами с разными зарядами, в результате чего происходит ионизация частиц запыленного воздуха, то есть они получают электрический заряд и под действием электрического поля движутся к осадительным электродам, которые имеют противоположный заряд и осаждаются на них. При этом напряжение подводимого электрического тока составляет 60...80 кВт.

На рисунке 1.10 представлена схема электрофильтра.

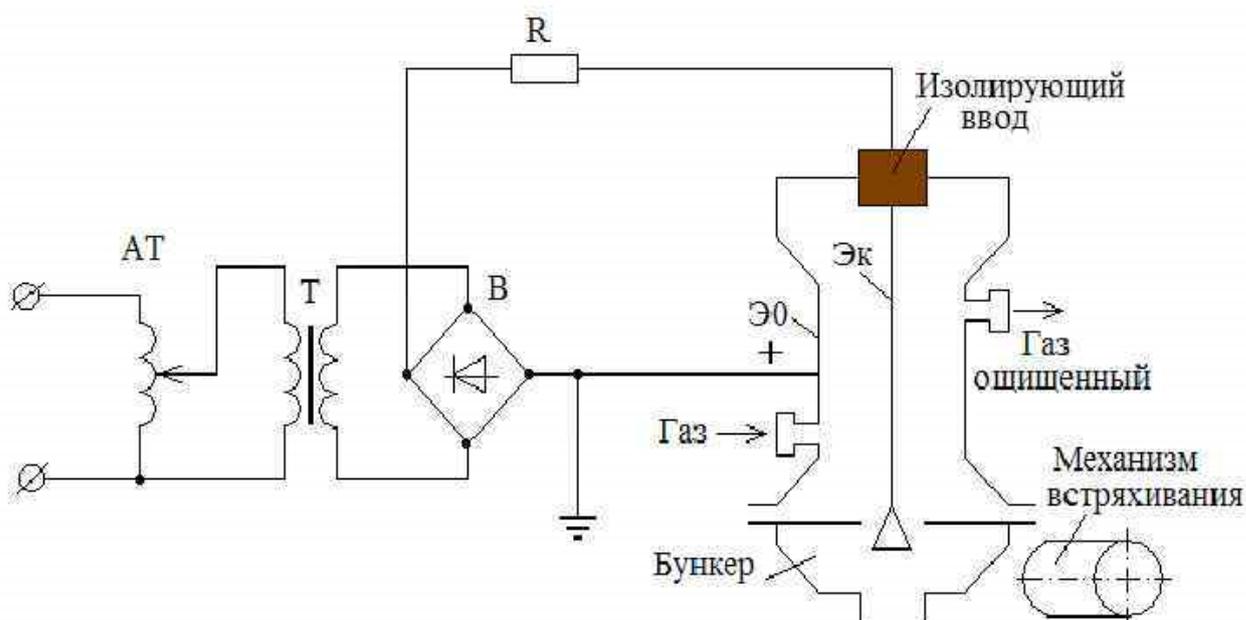


Рисунок 1.10 – Схема электрофильтра

Достаточное для осаждения пыли время нахождения запыленного воздуха в камере обычно составляет 3-4 с и по нему рассчитывают объем и сечение электрофильтра. При этом скорость движения потока запыленного воздуха достигает 2-2,2 м/с.

Для достижения высокой эффективности фильтра необходимо выполнить точную его настройку, соответственно существует потребность в персонале с высокой квалификацией. Также необходимо учитывать, что электрофильтры являются сложными электротехническими сооружениями, поэтому существует необходимость большого пространства. В следствии чего, данные фильтры применяются при очистке больших объёмов запыленного воздуха (более 100000 м<sup>3</sup>/ч), а при работе с малыми объемами запыленного воздуха на небольших производствах применять электрофильтры экономически не целесообразно [24, 36, 47, 52, 55, 63, 71].

В настоящее время при сложном и разнообразном технологическом процессе производства строительных материалов для повышения эффективности производства на первой стадии применяют инерционные пылеотделители. К одному из видов таких отделителей можно отнести пылесадитель инерционного типа, который относится к механическим аппаратам сухого способа очистки.

При включении пылеосадителя в технологическую цепочку производства различных материалов, эффективность пылеочистки в целом увеличивается, что дает экономический и экологический эффект.

## **1.2. Направления развития аппаратов и технологий очистки запыленного воздуха**

На различных предприятиях оборудование постепенно устаревает морально и физически, отработав свой срок эксплуатации. Технологические нормы проектирования при эксплуатации очистного оборудования претерпели целый ряд изменений.

В настоящее время более 80% пылегазоочистного оборудования нуждается в реконструкции [89, 90].

Существует большое количество работ посвященных теории пылеочистки. В них рассмотрены методики расчёта и определения минимальных размеров частиц, полностью сепарирующихся из потока воздуха. В теории большинство конструкций имеют высокую эффективность отделения сравнительно мелких частиц из потока воздуха.

Группа латвийских ученых предлагает оптимизировать внутреннюю геометрическую конструкцию многоканального циклона для повышения эффективности очистки. Предполагается, что такие циклоны будут отфильтровывать как можно больше твердых частиц из газового потока. В то же время они должны вносить только минимальную потерю давления в систему. Следовательно, эффективность сбора должна быть максимизирована, а потери давления - минимальными.

Очистное оборудование с замкнутым контуром, например циклоны, имеет простую конструкцию, легко изготавливается и монтируется (рисунок 1.11). Они надежны, универсальны и экономичны. Их модули, в отличие от ряда циклонов, работающих параллельно, обеспечивают высокую эффективность обработки без

ущерба для эффективности. Изогнутые каналы, которые создают замкнутые системы, являются основой такого оборудования [113].

Загрязненный пылью газообразный поток фильтруется через несколько слоев пепла и пыли, которые циркулируют в замкнутых контурах. Сочетание фильтрации загрязненных пылью потоков и центробежной очистки является новой тенденцией в фильтрах инерционной и газовой очистки [125].



Рисунок 1.11 – Принципиальная схема внутренней конструкции многоканального циклона

Пространства между полуцилиндрами разного диаметра могут компенсировать турбулентность, возникающую в каналах. Изменяя эти расстояния, можно определить оптимальное распределение воздушных потоков, не усложняя конструкцию оборудования. Таким образом, можно эффективно контролировать такие сложные процессы, как движение загрязненного воздуха [110, 111]. Газообразный поток делится на две части на выходе из каждого канала. Периферийная часть циркулирующего потока возвращается в канал, а основной поток направляется в другой канал. Воздушный поток покидает систему через центральный выход. Твердые частицы выше критического веса попадают в канал 1 и откладываются в бункере. Твердые частицы ниже критического веса перемещаются дальше вместе с потоком воздуха. Твердые частицы среднего веса распределяются в каналах разных диаметров и циркулируют в замкнутых контурах [106, 107, 117, 123].

Интернациональным коллективом авторов из Норвегии и Нидерландов предложен циклон с входными лопатками в цилиндрической вихревой трубе [129].

Вихревые лопасти создают сильно закрученный поток, который центрифугирует частицы к стенке, по которой они транспортируются к выходу твердых частиц. В вихревой трубе с обратным потоком лопасти расположены вокруг выхода газа или вихревого искателя. Газ циркулирует вниз во внешней части разделительного пространства, и частицы центрифугируются к стенке. Газ меняет направление своего осевого потока, поскольку он движется внутрь и вращается вверх в центральной части, выходя через вихревой искатель. Частицы покидают вихревую трубу через дно, которое может быть или не быть оснащено базовой пластиной, оставляющей кольцевой зазор, через который частицы протекают.

Вихревые трубы часто используются в высокоэффективных пылеуловителях конечной стадии, работающих при умеренной или низкой загрузке твердых частиц. Трубки в основном расположены параллельно с большим количеством меньших трубок в «вихревых деках» (рисунок 1.12), в которые они подаются из обычных камер и выпускаются в них. В отличие от обычных циклонов, небольшой газовый поток часто вытягивается из пылевого пространства вихревой деки, так называемого нижнего потока. Этот поток должен быть обработан вниз по течению. Вверх по потоку от вихревой деки обычные циклоны большого диаметра часто устанавливаются в качестве первой ступени очистки от пыли, которая собирает частицы непосредственно, не требуя потока нижнего потока, и является экономичной как с точки зрения инвестиций, так и эксплуатационных расходов.

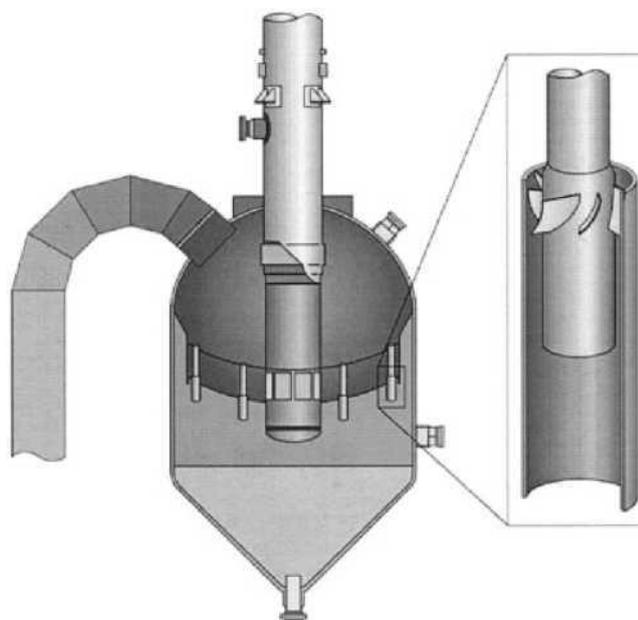


Рисунок 1.12 – Циклон с входными лопатками в цилиндрической вихревой трубе

В дополнение к компактности преимущества вихревых труб часто называют меньший перепад давления и большую емкость.

Для повышения эффективности очистки запыленного воздуха Кабановым С.Ю. предлагается зернистый фильтр [40, 47], который состоит из «корпуса фильтра 1, в верхней части которого расположен циклонный элемент с тангенциальным патрубком 2 для входа запыленных газов, коническим бункером пыли 3 в нижней части корпуса (рисунок 1.13).

Внутри корпуса фильтра коаксиально расположен корпус 4 для зернистого материала, на нижнем основании которого установлена газопроницаемая перегородка 5 с расположенным на ней фильтрующим зернистым слоем 6. По оси корпуса 4 расположен ворошитель 7, выполненный в виде полого вала с окнами и присоединенными к нему в нижней части водилами. К ворошителю 7 присоединен патрубок обратной продувки 12 для подачи сжатого воздуха. Верхняя часть корпуса 1 закрыта крышкой 8, по центру которой установлен выходной патрубок 9 для выхода очищенного газа из фильтра. Выходной патрубок в нижней части имеет коническое днище 10, а его боковая поверхность, расположенная внутри корпуса 4 выполнена перфорированной.

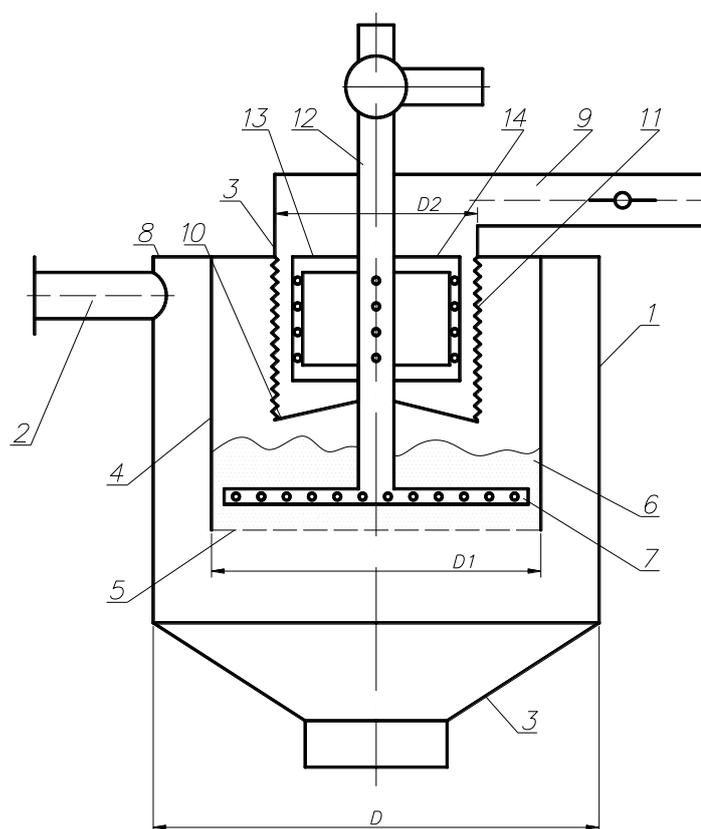


Рисунок 1.13 – Схема комбинированного зернистого фильтра

Снаружи перфорированной части выходного патрубка 9 закреплена фильтровальная ткань 11. В центральной части на трубке обратной продувки 12, с возможностью вращения, установлена рамка полая 13, на вертикальных патрубках которой выполнены сопла 14 для прохода сжатого воздуха. Площадь поверхности зернистого слоя меньше площади поверхности фильтровальной ткани, а диаметр корпуса фильтра, корпуса зернистой насадки и выходного перфорированного патрубка равны  $D_2 = (0,85...0,9)D_1$  и  $D_1 = (0,85...0,9)D$  [40, 47].

В холдинговой группе «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ» на протяжении нескольких лет занимаются вопросами пылеулавливания с помощью оборудования нового поколения, которое обеспечивает все требования по очистки газов и аспирационного воздуха на предприятиях различных отраслей. Так сотрудниками данного предприятия Чекаловым Л.В. и Санаевым Ю.И. предлагается комбинированный электрофильтр (рисунок 1.14), который состоит из полей электрофильтра и рукавного фильтра, размещенных в одном корпусе.

Торцевая часть корпуса закрыта рукавной плитой. В плите навстречу потоку газа установлены фильтровальные элементы доньшками навстречу потоку газа. Кроме этого, раздающие трубы сжатого воздуха для регенерации рукавов установлены горизонтально.

Таким образом, движущийся очищаемый пылегазовый поток сохраняет свое первоначальное направление. Длина рукавов может быть выполнена на всю длину поля. При хорошей регенерации рукавов заполняется весь объем поля.

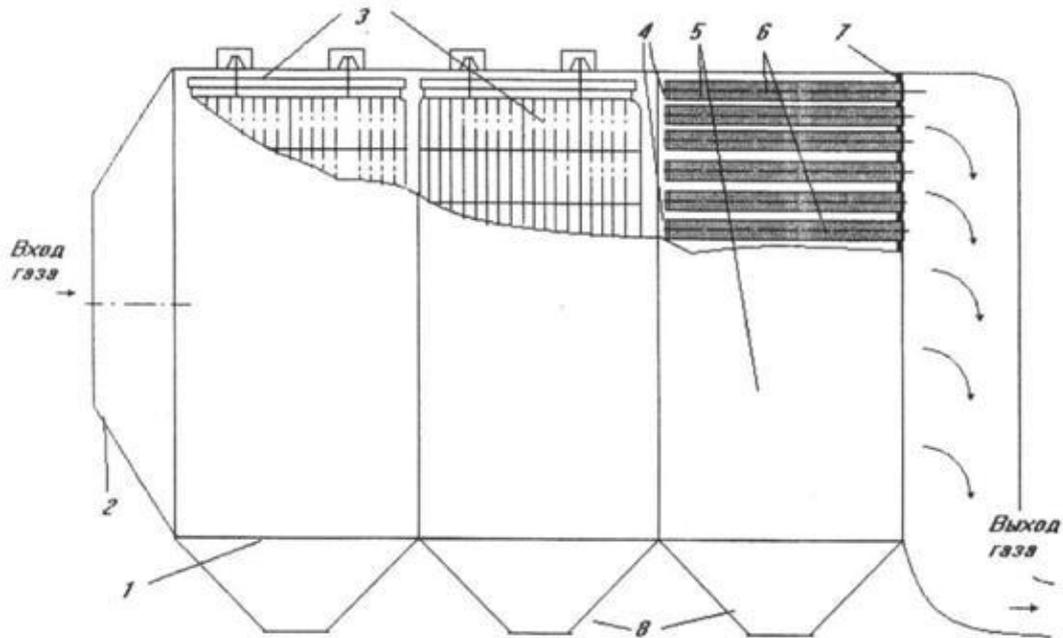


Рисунок 1.14 – Комбинированный электрофильтр

В начальной части корпуса комбинированного электрофильтра 1 расположены поля электрофильтра 3, снабженные на входе газа с диффузором 2. Далее в корпусе размещен рукавный фильтр 5, содержащий рукавную плиту 7, в которой установлены фильтроэлементы 6 с доньшками 4. Фильтроэлементы ориентированы доньшками навстречу потоку газа. Под корпусом расположены бункеры 8 для сбора уловленной пыли.

Сопоставимый анализ работ отечественных и зарубежных ученых позволяет выявить перспективные направления конструкторско-технологического совершенствования аспирационных систем, к которым следует отнести:

- повышение эффективности очистки запыленного воздуха;
- повышение надежности процесса пылеулавливания;

– уменьшение гидравлического сопротивления аппаратов.

### **1.3. Направления конструктивно – технологического совершенствования пылеосадителей инерционного типа**

Проведенные исследования в области разделения тонкодисперсных порошков показали, что внимание ряда исследователей уделяется пылеосадителям.

Рациональное использование пылеосадителей достигается в аспирационных системах большой производительности. Их устанавливают перед фильтрами или между циклоном и фильтром. Пылеосадитель намного уменьшает массу пыли, направляемой на тонкую очистку. Это позволяет уменьшить энергозатраты на производство в целом, а также, за счет возможного уменьшения производительности фильтров тонкой очистки, снизить их первоначальную стоимость, металлоёмкость, эксплуатационные расходы и уменьшить занимаемую ими площадь.

С целью повышения эффективности очистки запыленного воздуха с возможностью разделения пыли по фракциям в научно–производственном предприятии «Конверсия» авторами Янушкевич В.А., Лукерченко В.Н. предложена конструкция инерционного пылеотделителя для улавливания пыли и газоочистки при производстве строительных материалов и в других отраслях промышленности.

Инерционный пылеотделитель (рисунок 1.15) состоит из «корпуса, образованного входными, промежуточным и выходным воздуховодами. Между входным и промежуточным воздуховодами размещена первая система жалюзийных элементов. Между промежуточным и выходным воздуховодами размещена вторая система жалюзийных элементов [44]. Пылеотделитель содержит также основной пылесборник 9, соединённый через изогнутый патрубок 10 с дальним концом входного воздуховода, и дополнительный пылесборник 11,

соединенный через изогнутый патрубок 12 с дальним концом промежуточного воздуховода [44].

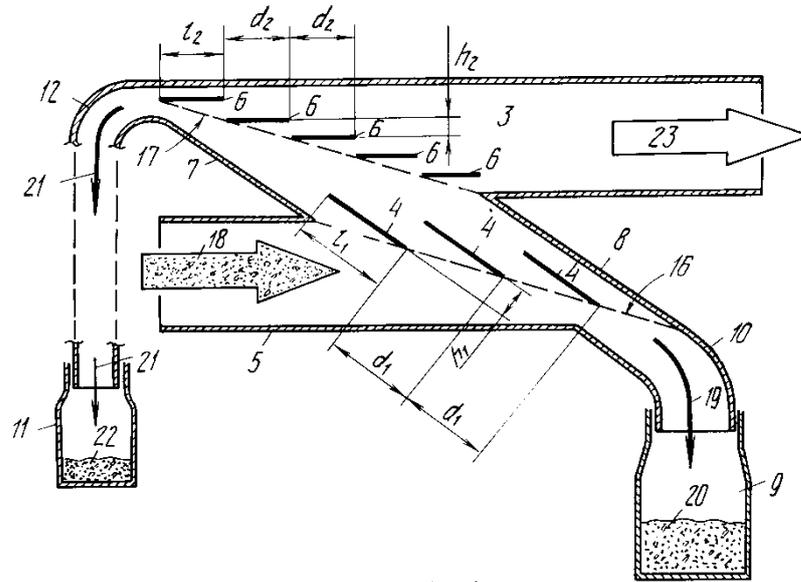


Рисунок 1.15 – Инерционный пылеотделитель

Под действием системы нагнетания или системы отсоса запыленный поток воздуха поступает во входной воздуховод, где сталкивается с системой жалюзийных элементов, установленных под углом  $45^\circ$  к вектору входного потока. Крупные частицы пыли, сталкиваясь с пластинами 4, отражается к нижней стенке 5, вновь подхватывается потоком и пролетает по инерции через изогнутый патрубок 10 в пылесборник 9 крупных фракций 20 [44].

Мелкая пыль, обладающая меньшей инерцией, с воздухом проходит в промежуточный воздуховод, в котором вновь нагнетается воздушным потоком и встречает вторую систему жалюзийных элементов. Мелкая пыль, сталкиваясь с пластинами 6 проскакивает через изогнутый патрубок 12 в дополнительный пылесборник 11 мелких фракций 22» [44].

Очищенный воздух после второй системы жалюзийных элементов через выходной воздуховод выходит наружу.

В данном инерционном пылеотделителе используют две системы жалюзийных элементов с различными конструктивными параметрами. Это предотвращает забивку жалюзийных элементов крупными фракциями и обеспечивает более тонкую очистку.

Коллективом авторов (Кочетов О.С., Голубева М.В., Колаева Л.В., Боброва Е.О., Духанина Е.В., Горнушкина Н.И., Павлова Д.О., Дорушенкова О.Ю., Костылева А.В., Зубова И.Ю.) разработан инерционный пылеотделитель (рисунок 1.16) для повышения эффективности и надёжности процесса пылеулавливания [45].

В данном пылеотделителе запыленный газовый поток поступает в «конус 1» через ввод 2. Частицы пыли, обладая силами инерции устремляются в бункер 3 для сбора пыли, а очищенный газ выводится через выходные патрубки 5. Преградой для попадания мелких фракций пыли в выходные патрубки 5 служит отбойный элемент, отделяющий бункер для сбора пыли от выходных патрубков 5.

Инерционный пылеотделитель содержит цилиндрический корпус 1 с крышкой 4, в которой закреплен ввод 2 запыленного газового потока. Конический бункер 3 предназначен для сбора пыли и соединен с корпусом 1 в нижней его части. Устройство для вывода очищенного газа, выполненное в виде двух патрубков 5. Отбойный элемент отделяет бункер 3 от устройства для вывода очищенного газа. Отбойный элемент выполнен в виде пакета конических шайб 6, 7, 8, каждая из которых образованна конической поверхностью усеченного конуса большим и меньшим основанием [45].

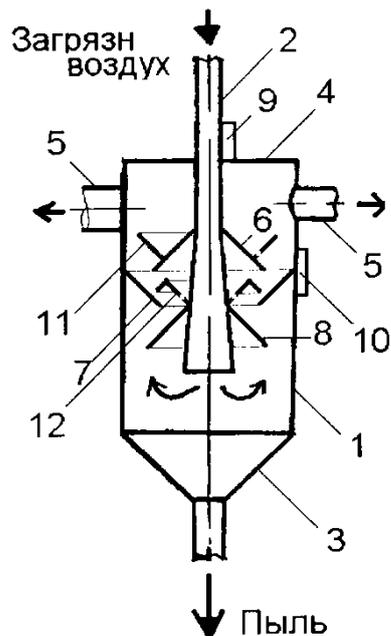


Рисунок 1.16 – Инерционный пылеотделитель

Для очистки конических шайб от налипшей на них и корпус пыли на корпусе в местах крепления конических шайб отбойного элемента установлены три вибратора 10, и на вводе 2 запыленного газового потока в месте крепления его к крышке корпуса установлены два вибратора 9» [45].

Данная конструкция инерционного пылеотделителя имеет сложную конструкцию и большие энергозатраты за счет установки как минимум пяти вибраторов. Также в данном инерционном пылеотделителе невозможно регулировать размер фракций пыли попадающих в конический бункер для сбора пыли.

В Ярославском государственном техническом университете коллективом авторов (А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов, В.К. Леонтьев, Л.В. Чекалов, М.Е. Смирнов) разработан пылеуловитель–классификатор (рисунок 1.17) [65].

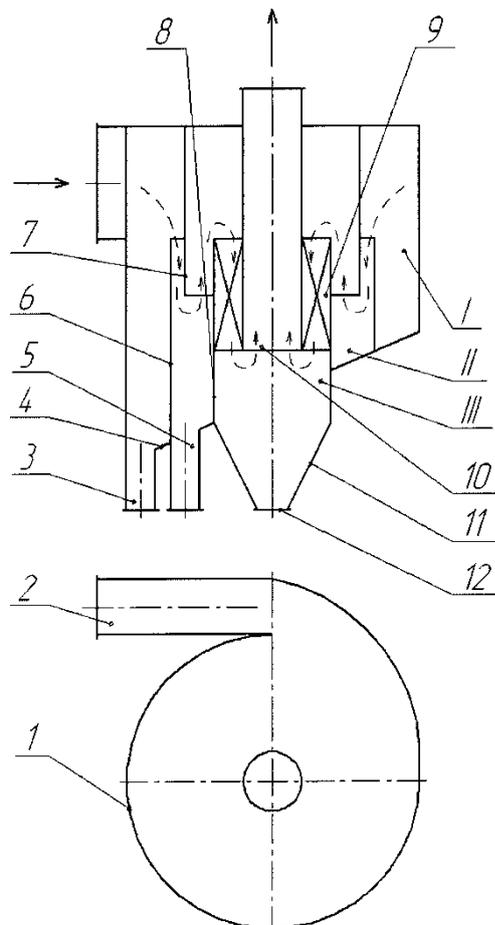


Рисунок 1.17 – Пылеуловитель–классификатор

Пылеуловитель-классификатор позволяет «разделять улавливаемую пыль на три фракции за счет трех ступеней очистки газа, размещенных в корпусе, входного патрубка спиральной формы, патрубков отвода крупной и средней фракции пыли, расположенных на одном наклонном днище, неподвижных лопастей расположенных на третьей ступени очистки и конического днища.

В аппарате размещены три ступени очистки газа I, II, III. Пылеуловитель-классификатор состоит из корпуса 1, в котором в верхней части размещен спиральный входной патрубок 2, в нижней - наклонное днище 4, содержащее патрубок отвода крупной фракции пыли 3 и патрубок отвода средней фракции пыли 5. По оси корпуса пылеуловителя-классификатора 1 расположены: установленный на наклонном днище 4 приемный цилиндр второй ступени очистки газа 6, навстречу которому закреплен экран цилиндрической формы 7; приемный цилиндр третьей ступени очистки газа 8, соединенный с коническим днищем 11, на котором установлен патрубок отвода мелкой фракции пыли 12; выходной патрубок 10, направленный вверх. В кольцевом пространстве между приемным цилиндром третьей ступени очистки газа 8 и выходным патрубком 10 установлены неподвижные лопасти 9.

В корпусе пылеуловителя-классификатора размещены три ступени очистки газа, что позволяет не только добиться повышения эффективности пылеулавливания, но и осуществить классификацию осаждаемых частиц пыли на три фракции. Применение входного патрубка спиральной формы позволяет снизить гидравлическое сопротивление конструкции, по крайней мере, на 25-30% и повысить устойчивость аппарата к абразивному износу. На третьей ступени очистки расположены неподвижные лопасти, что позволяет увеличить частоту вращения пылегазового потока, следовательно, повысить действие центробежной силы при разделении системы «газ - твердое тело». Применение конического днища на третьей ступени препятствует возникновению вторичного уноса пыли. За счет указанных признаков достигается повышение эффективности улавливания мелкодисперсной пыли на третьей ступени, по крайней мере, на 7-10%» [65].

В Государственном унитарном предприятии Проектно-конструкторском бюро Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого разработано «устройство для создания и очистки потока воздуха от примесей, которое имеет невысокое гидравлическое сопротивление и при этом сохраняет высокую степень очистки воздуха от примесей (рисунок 1.18) [46].

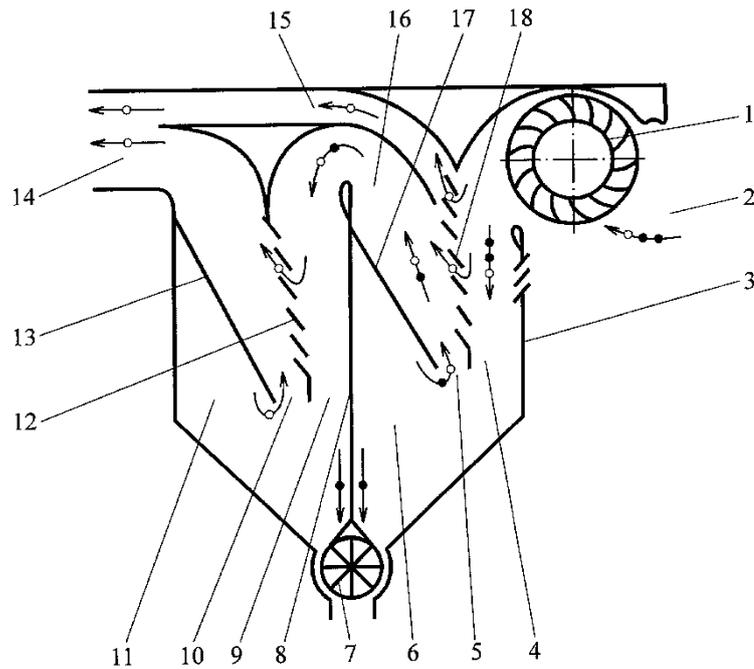


Рисунок 1.18 – Устройство для создания и очистки потока воздуха от примесей

Устройство состоит из диаметального вентилятора *1*, расположенного в верхней боковой части устройства, размещенного снаружи устройства, входного окна *2*, инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя первой ступени очистки с разгрузочным каналом *15* для отвода части очищенного воздуха жалюзийным пылеотделителем и инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя второй ступени очистки, объединенных друг с другом соединительным каналом *16*.

Через входное окно *2* воздушный поток с примесями диаметальным вентилятором *1* подается в инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель первой ступени, в котором пылевидные частицы под действием сил инерции перемещаются вдоль жалюзийной решетки *18*, а очищенный воздух

проходит по каналам жалюзийной решетки и часть его направляется по разгрузочному каналу 15 в выходной патрубок 14. Основная масса примесей с воздушным потоком поступает через выходной патрубок 4 в осадительную камеру 6. Частицы пыли и тяжелые примеси под действием сил инерции и тяжести оседают в осадительной камере 6 и выводятся наружу общим выводным устройством 7, а воздух с неосевшими легкими примесями разворачивается на  $180^\circ$  и через выходной патрубок 5 осадительной камеры направляется по соединительному каналу 16 в инерционный жалюзийно-противоточный пылеуловитель второй ступени очистки, где происходит более тонкая очистка. Легкие пылевидные частицы с воздушным потоком под действием сил инерции перемещаются вдоль жалюзийной решетки 12 к выходному патрубку 9 жалюзийного пылеотделителя, и, попадая в противоточный отделитель, воздух, развернувшись на  $180^\circ$ , через выходной патрубок 10 направляется, объединившись с воздухом, прошедшим через каналы жалюзийной решетки 12 к выходному патрубку 14, где соединяются с воздушным потоком, выходящим из разгрузочного канала 15 первой ступени очистки, и удаляется наружу [46].

Легкие частицы пыли и примеси под действием сил инерции и тяжести оседают в осадительной камере 11 и выводятся из нее общим выводным устройством 7» [46].

Таким образом, применение предлагаемого устройства для создания и очистки потока воздуха от примесей позволяет снизить металлоемкость при сохранении высокой степени эффективности очистки воздушного потока от примесей и невысоком гидравлическом сопротивлении.

Рассмотренные усовершенствованные конструкции аппаратов для пылеразделения также обладают рядом недостатков: невысокой фракционной эффективностью и сложностью конструкций при разделении на несколько фракций.

В связи с этим определено, что одним из перечисленных направлений совершенствования аппаратов пылеразделения является повышение фракционной

эффективности и снижение гидравлического сопротивления при простоте конструкции аппарата.

Сопоставительный анализ, проведенный на основе современных источников, позволяет сделать вывод, что для эффективной пылеочистки необходима разработка и использование пылеосадителей инерционного типа.

Используются пылеосадители, которые имеют большие гидравлические сопротивления. Однако их режим работы ограничен улавливанием пыли определенной фракции.

К числу перспективных задач по совершенствованию пылеосадителей инерционного типа следует отнести:

- расширение технологических возможностей и режимов работы для разделения исходного материала по фракциям;
- повышение эффективности работы аппарата;
- уменьшение гидравлического сопротивления.

Возникает необходимость дальнейшего развития данного научного направления и создания универсального оборудования, обладающего большей эффективностью, повышенной эксплуатационной надежностью и большими функциональными возможностями.

В связи с этим в основу настоящих исследований положена следующая рабочая гипотеза – повысить эффективность пылеулавливания за счет применения в технологической линии очистки запыленного воздуха пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

#### **1.4. Цель и задачи исследований**

В соответствии с принятой гипотезой о повышении эффективности пылеулавливания **целью** настоящей работы является разработка конструкции

пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, обеспечивающего повышение эффективности очистки запыленного воздуха.

В связи с поставленной целью в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструкцию пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, обеспечивающего повышение эффективности очистки запыленного воздуха.

2. Разработать математическую модель пылеосадителя инерционного типа, позволяющую исследовать влияние изменения параметров его работы на эффективность очистки запыленного воздуха.

3. Исследовать влияние конструктивно-технологических параметров пылеосадителя инерционного типа на его эффективность очистки запыленного воздуха.

4. Аналитически доказать, что предлагаемая конструкция пылеосадителя инерционного типа позволяет повысить эффективность очистки запыленного воздуха и качество готового продукта.

5. Исследовать многофакторное воздействие параметров пылеосадителя инерционного типа на его выходные характеристики.

6. Разработать рекомендации для реализации результатов работы в промышленных условиях.

Для решения поставленных в работе задач предлагается следующая конструкция пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, которая представлена ниже.

Пылеосадитель инерционного типа (рисунок 1.19) состоит из корпуса 1, например, прямоугольного сечения. В верхней части корпуса расположены патрубок подвода 2 исходного материала, например, цементной пыли, и патрубок вывода 3 тонкого материала. С противоположной стороны корпуса в нижней его части расположен патрубок вывода 4 грубой фракции. В средней части корпуса относительно его вертикальной оси установлена система регулируемых жалюзийных элементов 5. Жалюзийные элементы закреплены, например, на осях,

валах, которые установлены на боковых стенках корпуса. Элементы кинематически соединены между собой, например, тягой, для одновременного вращения вокруг своих осей и горизонтального перемещения. Для этого в корпусе выполнены проточки. Жалюзийные элементы могут поворачиваться относительно своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и перемещаться поперек корпуса от 0 мм до  $a$ .

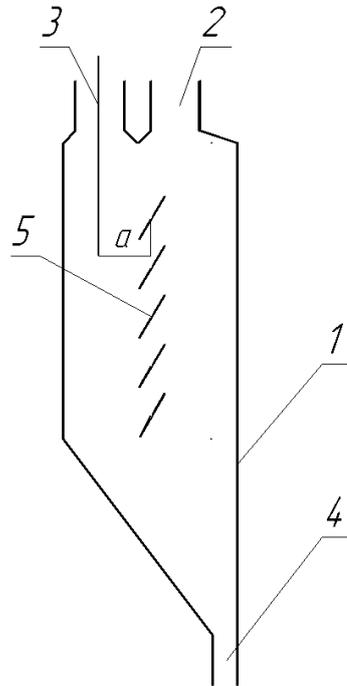


Рисунок 1.19 – Пылесадитель инерционного типа: 1 – корпус, 2 – патрубок подвода, 3 – патрубок вывода тонкого материала, 4 – патрубок вывода грубой фракции, 5 – жалюзийные элементы

Вращение обеспечивается тем, что на одной из осей, например, верхней, установлен привод (на рисунке не показан), либо электромеханический, либо ручной, и оси между собой связаны кинематически с возможностью их одновременного вращения. Также предусмотрено одновременное перемещение жалюзийных элементов поперек корпуса от 0 мм до  $a$ . Варьируя величинами параметров  $\alpha$  и  $a$  можно в широких пределах изменять дисперсность выходящего из пылесадителя продукта. Для управления процессом разделения дисперсных частиц в потоке воздуха жалюзийные элементы вращаются вокруг своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

## 1.5. Выводы

1. Рассмотрено основное оборудование и аппараты для очистки запыленного воздуха после технологического оборудования. Показано, что применение многостадийных схем пылеочистки позволяет повысить общую эффективность пылеулавливания.

2. Показаны пути повышения эффективности пылеочистки в различных отраслях промышленности. Установлено, что применение пылесадителей инерционного типа позволяет повысить эффективность пылеосаждения.

3. Рассмотрены основные типы пылесадителей, применяемых в строительном производстве. Показано, что применение пылесадителей, основанных на принципе регулирования динамического воздействия на осаждаемую частицу, не позволяют обеспечить высокую эффективность пылеочистки.

4. Предложена новая конструкция пылесадителя инерционного типа, обеспечивающая повышение эффективности осаждения грубодисперсной пыли.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ПЫЛЕОСАДИТЕЛЕ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА

В пылесадительных камерах, которые применяются при пылеочистке запыленного воздуха в строительном производстве, используют гравитационное осаждение частиц из потока газа. Для достижения необходимой эффективности очистки газов необходимо, чтобы частицы как можно более длительное время находились в пылесадительной камере. Для повышения эффективности камер применяются различные устройства [74]. Изменение направления течения и введение в камеру отклоняющих/направляющих перегородок позволят наряду с гравитационным использовать еще и инерционный эффект осаждения частиц при обтекании потоком газа различных препятствий. При отклонении потока газа от прямолинейного направления следует ожидать выпадения наиболее крупных частиц. В этом случае благодаря инерционным силам пылевые частицы, стремясь сохранить направление своего движения после поворота потока газа, будут выпадать в бункер. Кроме того удар частицы о препятствие приводит к изменению скорости и, соответственно, кинетической энергии, что тоже будет способствовать выпадению крупных частиц в бункер.

### 2.1. Одномерное уравнение динамики потока воздуха

Рассматриваем поток воздуха в предложенном пылесадителе (рисунок 2.1) для этого введем систему координат: ось  $Oz$  направим вертикально вниз, а оси  $Ox$  – влево.

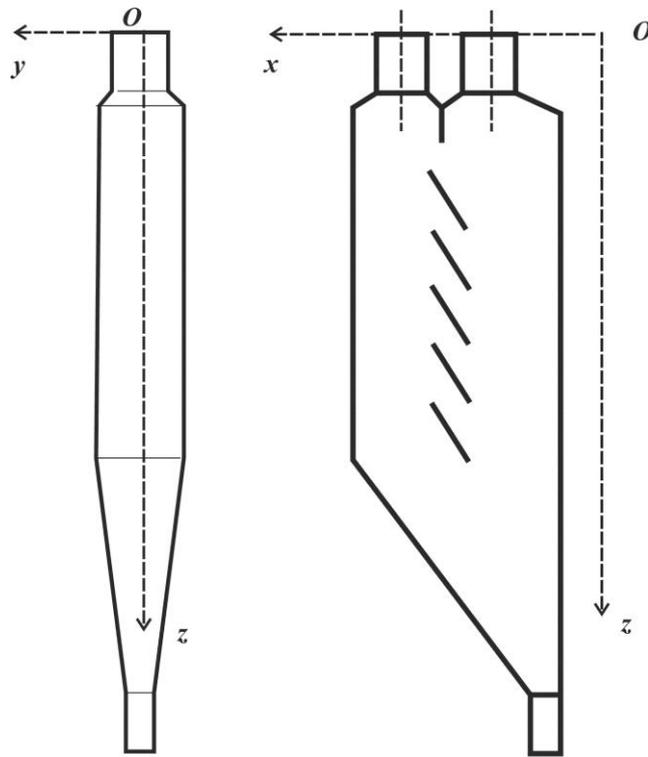


Рисунок 2.1 – Система координат пылеосадителя инерционного типа

Будем рассматривать поток частиц в выделенной области (рисунок 2.2) с площадью сечения  $S_1$  и  $S_2$ . В результате перетекания воздуха из области 1 в область 2 скорость нисходящего воздуха ( $u$ ) и скорость восходящего потока ( $\vartheta$ ) изменяются вдоль оси  $z$ . Для определения этих скоростей применим подход, представленный в [55, 60]. Для выделенного объема  $V$  запишем закон сохранения количества движения:

$$\int_S \rho \vec{u} u_n dS = \int_V \vec{f} dV + \int_S \vec{p}_n dS, \quad (2.1)$$

где  $\vec{u}$  – вектор скорости воздуха,

$u_n$  – проекция скорости на внешнюю нормаль  $\vec{n}$  к поверхности  $S$ ,

$\rho$  – плотность воздуха,

$\vec{f}$  – вектор массовых сил,

$\vec{p}_n$  – вектор напряжения поверхностных сил, приложенный к площадке  $dS$  с внешней нормалью  $\vec{n}$ .

Массовые силы межкомпонентного взаимодействия представим в виде [60]

$$\vec{f} = \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(\vec{v} - \vec{u})|\vec{v} - \vec{u}|}{2}, \quad (2.2)$$

где  $\vec{v}$  – скорость частицы,

$C_X$  – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы,

$S_p$  – площадь миделевого сечения частицы,

$V_p$  – объем частицы,

$\beta$  – объемная концентрация частиц в потоке.

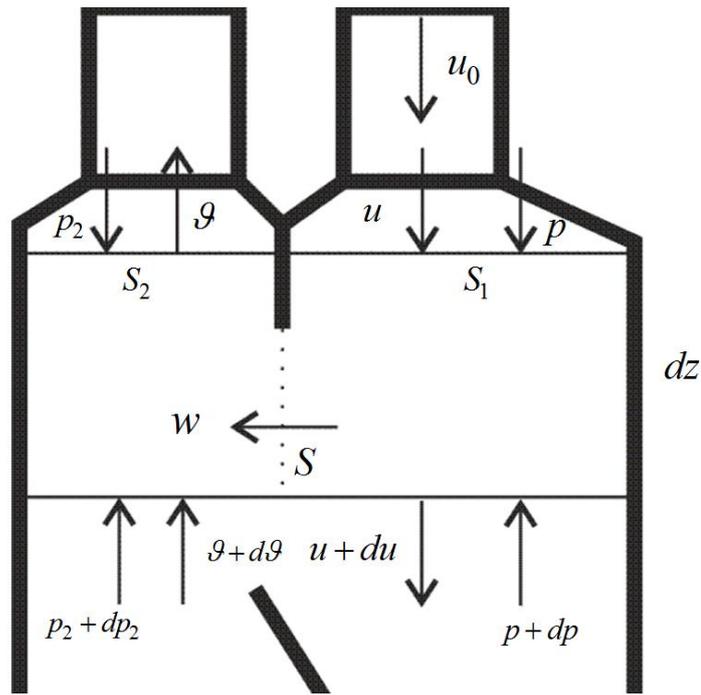


Рисунок 2.2 – Расчетная схема

Пренебрегая силами сопротивления стенок канала, в проекцию на ось  $Oz$  (рисунок 2.2) получим уравнение

$$\begin{aligned} \rho u(-u)S_1 + \rho(u+du)(u+du)S_1 = \\ = dz S_1 \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v-u)|v-u|}{2} + pS_1 - (p+dp)S_1. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Пренебрегая малыми величинами выше первого порядка, получим

$$dp + 2\rho u du = dz \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v-u)|v-u|}{2}. \quad (2.4)$$

Для восходящего потока получим

$$\begin{aligned} \rho\vartheta(-\vartheta)S_2 - \rho(\vartheta + d\vartheta)(-\vartheta - d\vartheta)S_2 = \\ = dz S_2 \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v - \vartheta)|v - \vartheta|}{2} + p_2 S_2 - (p_2 + dp_2) S_2, \end{aligned} \quad (2.5)$$

что дает

$$dp_2 + 2\rho\vartheta d\vartheta = dz \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v - \vartheta)|v - \vartheta|}{2}. \quad (2.6)$$

Далее воспользуемся законом сохранения массы

$$\int_S \rho u_n dS = 0. \quad (2.7)$$

Записав его для объема  $dz \cdot S_1$ , получим

$$\frac{du}{dz} = \frac{S}{S_1} w, \quad (2.8)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения между вертикальной стенкой и нижней границей выделенного объема.

Применение закона (2.7) к объему  $dz \cdot S_2$  даст

$$\frac{d\vartheta}{dz} = \frac{S}{S_2} w. \quad (2.9)$$

Из уравнений (2.8), (2.9) получим

$$\frac{du}{dz} - \frac{S_2}{S_1} \frac{d\vartheta}{dz} = 0, \quad (2.10)$$

откуда

$$\vartheta - \vartheta_0 = \frac{u - u_0}{S_2 / S_1}. \quad (2.11)$$

Скорость перетекания воздуха из области 1 в область 2 найдем из уравнения Бернулли

$$p + \frac{\rho w^2}{2} = p_2, \quad (2.12)$$

откуда

$$w = \sqrt{2 \frac{|p_2 - p|}{\rho}}. \quad (2.13)$$

Подставив (2.13) в (2.4), (2.6), (2.8), (2.9), получим систему уравнений для определения скорости и давления в выделенном объеме

$$\frac{du}{dz} = \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|p_2 - p|}{\rho}} = \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}}, \quad (2.14)$$

$$\frac{dp}{dz} = -2\rho u \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} + \rho C_x \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v-u)|v-u|}{2}, \quad (2.15)$$

$$\frac{dp_2}{dz} = -2\rho \frac{S_1 S}{S_2^2} (u - u_0) \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} + \rho C_x \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{\left( v - S_1 \frac{u - u_0}{S_2} \right) \left| v - S_1 \frac{u - u_0}{S_2} \right|}{2}. \quad (2.16)$$

Зная  $\Delta p$  и скорость частицы  $\vec{v}$ , из системы уравнений (2.11), (2.14)–(2.16) могут быть найдены скорость  $u$ ,  $\vartheta$  и давление  $p$ ,  $p_2$ .

В случае отсутствия скольжения фаз система (2.14)–(2.16) запишется в виде

$$\frac{du}{dz} = \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}}, \quad (2.17)$$

$$\frac{dp}{dz} = -2\rho u \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}}, \quad (2.18)$$

$$\frac{dp_2}{dz} = -2\rho \frac{S_1 S}{S_2^2} (u - u_0) \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}}. \quad (2.19)$$

Уравнение (2.17) является неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка относительно скорости движения нисходящего потока воздуха.

Если  $\Delta p = const$ , то решением уравнения (2.17) будет

$$u = \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} z + C_0. \quad (2.20)$$

Константу  $C_0$  найдем из граничного условия

$$u|_{z=0} = u_0. \quad (2.21)$$

Тогда  $C_0 = u_0$  и уравнение (2.20) принимает вид

$$u = \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} z + u_0. \quad (2.22)$$

График изменения скорости движения нисходящего потока воздуха  $u(z)$  при различном отношении  $S/S_1$  представлен на рисунке 2.3.

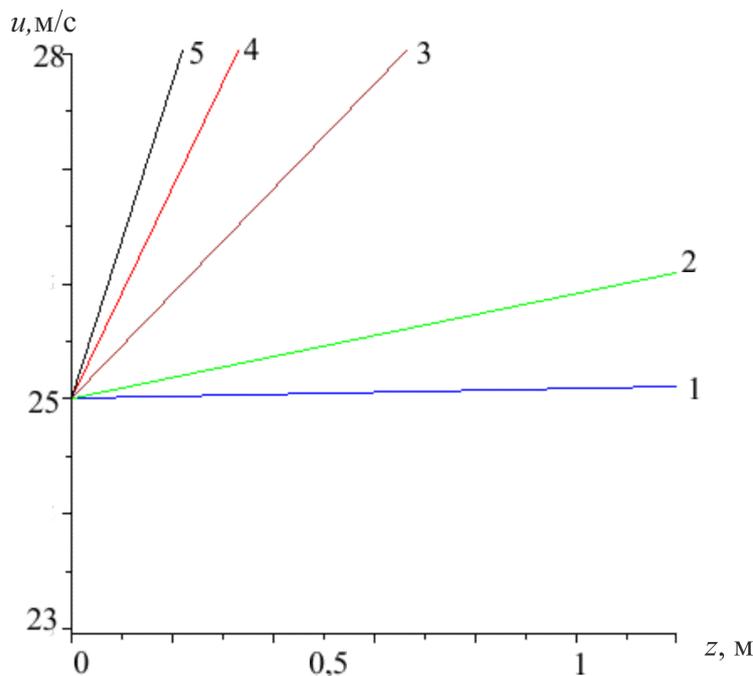


Рисунок 2.3 – Скорость  $u(z)$  при различном соотношении  $S/S_1$ :

1 – 0,01; 2 – 0,1; 3 – 0,5; 4 – 1,0; 5 – 1,5

Из графика видно, что при  $S/S_1$  равном 0,01 скорость движения нисходящего потока воздуха  $u(z)$  по оси  $Oz$  практически не увеличивается. А при  $S/S_1$  равном 0,5 скорость движения нисходящего потока воздуха  $u(z)$  относительно оси  $Oz$  увеличивается от 25 м/с до 28 м/с при прохождении 0,5 м. Самое резкое увеличение скорости движения нисходящего потока воздуха  $u(z)$  от 25 м/с до 28 м/с происходит при  $S/S_1 = 1,5$  и прохождении 0,25 м по оси  $Oz$ .

На рисунке 2.4 представлен график  $u(z)$  при различном значении  $\Delta p$ .

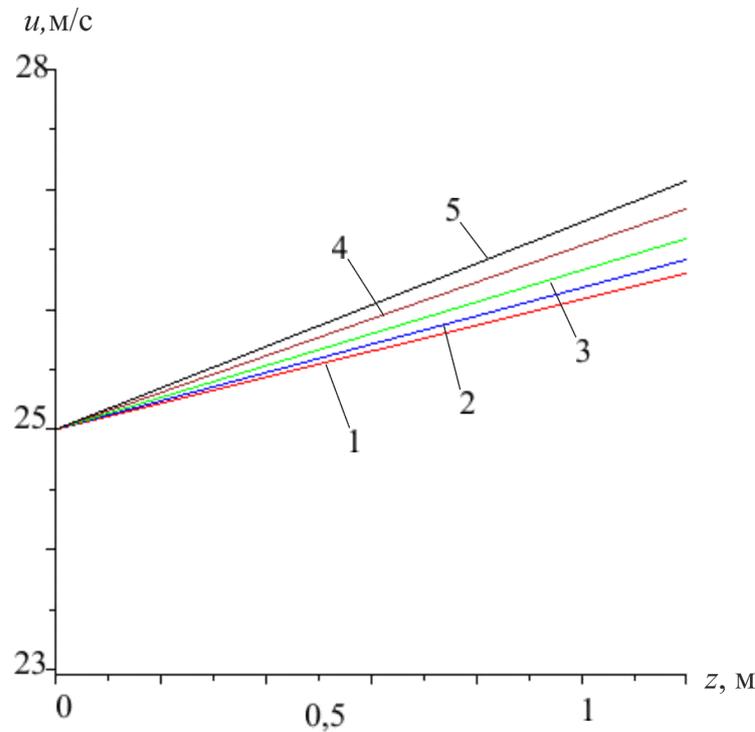


Рисунок 2.4 – Скорость  $u(z)$  при различном перепаде  $\Delta p$ :

1 – 370; 2 – 440; 3 – 550; 4 – 740; 5 – 950 Па

Из данного графика видно, что при перепаде давления  $\Delta p$  равном 370 Па скорость движения нисходящего потока воздуха  $u(z)$  увеличивается от 25 м/с до 26 м/с при прохождении 1 м по оси  $Oz$ . Самое максимальное увеличение скорости движения нисходящего потока воздуха от 25 м/с до 26,75 м/с при прохождении 1 м по оси  $Oz$  происходит при перепаде давления  $\Delta p$  равного 950 Па.

Подставив (2.22) в (2.18), получим

$$\frac{dp}{dz} = -4 \left( \frac{S}{S_1} \right)^2 |\Delta p| z + \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} u_0, \quad (2.23)$$

Интегрирование уравнения (2.23) дает

$$p = -2 \left( \frac{S}{S_1} \right)^2 |\Delta p| z^2 + \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} u_0 z + C_1. \quad (2.24)$$

Граничное условие

$$p|_{z=0} = -\rho \frac{u_0^2}{2} \quad (2.25)$$

дает значение константы  $C_1 = -\rho \frac{u_0^2}{2}$ . Тогда давление  $p$  будет равно

$$p = -2 \left( \frac{S}{S_1} \right)^2 |\Delta p| z^2 + \frac{S}{S_1} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} u_0 z - \rho \frac{u_0^2}{2}. \quad (2.26)$$

Из (2.19) с учетом (2.22) получим уравнение

$$\frac{dp_2}{dz} = -8 \frac{S^2}{S_2^2} |\Delta p| z, \quad (2.27)$$

решение которого при граничном условии

$$p_2|_{z=0} = p_a - \rho \frac{g_0^2}{2} \quad (2.28)$$

дается выражением

$$p_2 = p_a - 8 \frac{S^2}{S_2^2} |\Delta p| z^2 - \rho \frac{g_0^2}{2}. \quad (2.29)$$

Зависимость давления воздуха  $p_2$  при различном перепаде  $\Delta p$  представлена на рисунке 2.5.

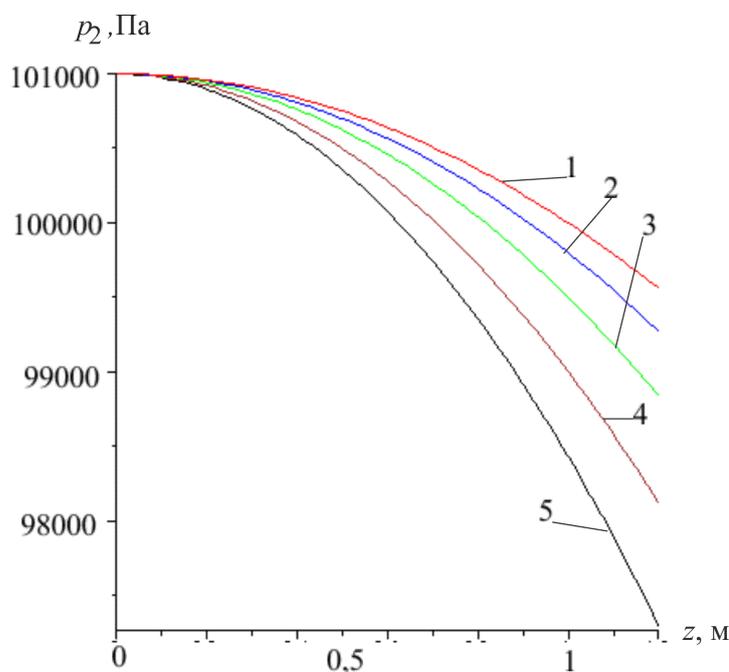


Рисунок 2.5 – Давление воздуха  $p_2$  при различном перепаде  $\Delta p$ : 1 – 500; 2 – 600; 3 – 750; 4 – 1000; 5 – 1285 Па

При этом для скорости восходящего потока из (2.11) имеем

$$\vartheta = \frac{S}{S_2} \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho}} z + \vartheta_0. \quad (2.30)$$

Зависимость скорости  $\vartheta(z)$  при различном соотношении  $S/S_2$  представлена на рисунке 2.6.

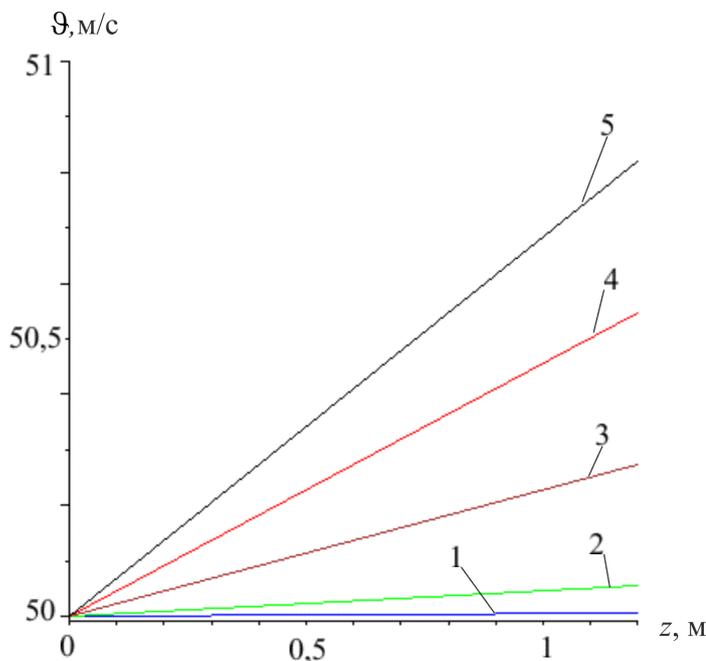


Рисунок 2.6 – Скорость  $\vartheta(z)$  при различном соотношении  $S/S_2$  :

1 – 0,01; 2 – 0,1; 3 – 0,5; 4 – 1,0; 5 – 1,5

На рисунке 2.6 видно, что все представленные зависимости имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением расстояния  $z$  возрастает скорость движения восходящего потока воздуха  $\vartheta(z)$ .

При минимальном значении соотношения  $S/S_2$  равном 0,01 скорость движения восходящего потока воздуха практически не изменяется. Самое наибольшее изменение скорости движения восходящего потока воздуха происходит при значении соотношения  $S/S_2$  равном 1,5.

Уравнения (2.22), (2.26), (2.29), (2.30) представляют решение поставленной задачи в случае отсутствия скольжения фаз. В том случае, когда  $\vartheta \neq v$  и  $u \neq v$ , для нахождения неизвестных скоростей и давлений нужно систему уравнений (2.14)–(2.16) решать численно, предварительно вычислив скорость частицы  $v$ .

При этом для нахождения однозначного ответа уравнения (2.14) – (2.16) нужно замкнуть граничными условиями. В качестве граничных условий задаются условия на границе  $z = 0$  – уравнения (2.21), (2.25), (2.28). Кроме этого, нужно задать еще и условия на границе  $z = l$ .

Таким образом, получено решение задачи о нахождении скорости восходящего и нисходящего потока воздуха, а также давления в различных сечениях пылесадителя при отсутствии скольжения фаз в одномерной постановке.

## 2.2. Двумерные уравнения динамики потока воздуха в пылесадителе

Движение вязкой несжимаемой жидкости описывается уравнениями Навье - Стокса совместно с уравнением неразрывности:

$$\operatorname{div} \vec{V} = 0, \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \Delta \vec{V}, \quad (2.32)$$

где  $\vec{V}$  – вектор скорости воздуха,

$\rho$  – плотность воздуха,

$p$  – давление воздуха,

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,

$\vec{F}$  – плотность распределения объемных сил.

В проекции на оси декартовой системы координат система (2.31) – (2.32) запишется в виде [56]

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} = F_1 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \nu \Delta V_1, \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_2}{\partial x_3} = F_2 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \nu \Delta V_2, \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_3}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = F_3 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} + \nu \Delta V_3, \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = 0, \quad (2.36)$$

или кратко

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta V_i, \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0, \quad i, k = 1, 2, 3. \quad (2.38)$$

Введем систему координат: ось  $Oz$  направим вертикально вниз, а оси  $Ox$  и  $Oy$  так, как показано на рисунке 2.1. Поскольку мы рассматриваем движение запыленного воздуха и этот воздух является невязкой средой, то уравнения движения в отсутствии массовых сил сведутся к

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i}, \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0, \quad i, k = 1, 2, 3. \quad (2.40)$$

Для определения компонент вектора скорости и давления имеем систему четырех дифференциальных уравнений в частных производных. Поскольку общего решения задачи в такой постановке для областей произвольной геометрии не существует, то для интегрирования системы уравнений применим некоторые упрощающие предположения. Учитывая геометрию пылеосадителя, можно предположить, что течение плоское и происходит в плоскости  $xOz$ . Тогда вектор скорости будет иметь следующие компоненты:  $\vec{V} = (V_x, 0, V_z)$ .

Предполагая течение потенциальным, можем неизвестные компоненты вектора скорости выразить через потенциал скоростей  $\phi$  или функцию тока  $\psi$ . В этом случае компоненты вектора скорости выразятся:

через потенциал  $\phi$

$$V_x = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad V_y = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad (2.41)$$

или функцию тока  $\psi$

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (2.42)$$

Рассмотрим движение потока воздуха в пылеосадителе. При распространении в пылеосадителе воздух обтекает последовательно выступы 1,2,3,...(рисунок 2.7). Для получения решения при обтекании углов поступим согласно [52]. Введем в каждом угле локальную полярную систему координат  $r, \theta$ . Угол  $\theta$  будем отсчитывать от оси  $z$ . Пусть  $\alpha$  – величина обтекаемого угла: при  $\alpha < \pi$  течение происходит внутри угла, при  $\alpha > \pi$  – снаружи. Тогда задача стационарного обтекания потенциальным потоком каждого из  $k$  – углов ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) сведется к следующему уравнению для потенциала скоростей

$$\Delta \varphi = 0, \quad (2.43)$$

с граничными условиями:

а) на поверхности пылеосадителя (условие непроницаемости)

$$\left. \frac{d\varphi}{d\theta} \right|_{\theta=0} = 0, \quad \left. \frac{d\varphi}{d\theta} \right|_{\theta=\alpha} = 0, \quad (2.44)$$

б) на бесконечности

$$\text{grad } \varphi = \vec{V}_\infty. \quad (2.45)$$

Решение системы (2.43) – (2.44) представляется в виде [52]

$$\varphi = Ar^n \cos(n\theta), \quad n = \frac{\pi}{\alpha}. \quad (2.46)$$

Коэффициенты  $A$  в каждом случае определяются условиями задачи.

Тогда компоненты вектора скорости

$$V_r = nAr^{n-1} \cos(n\theta), \quad V_\theta = -nAr^{n-1} \sin(n\theta). \quad (2.47)$$

Функция тока

$$\psi = Ar^n \sin(n\theta). \quad (2.48)$$

Функция тока дает возможность непосредственно определить форму линий тока для стационарного движения. Линии тока могут задаваться либо дифференциальными уравнениями

$$\frac{dx}{V_x} = \frac{dz}{V_z}, \quad (2.49)$$

либо как

$$\psi(x, z) = \text{const.} \quad (2.50)$$

Линии тока представляют собой семейство кривых, получающихся приравниванием линии тока  $\psi(x, z)$  произвольной постоянной.

Линии тока при течении внутри и вне угла представлены на рисунке 2.7.

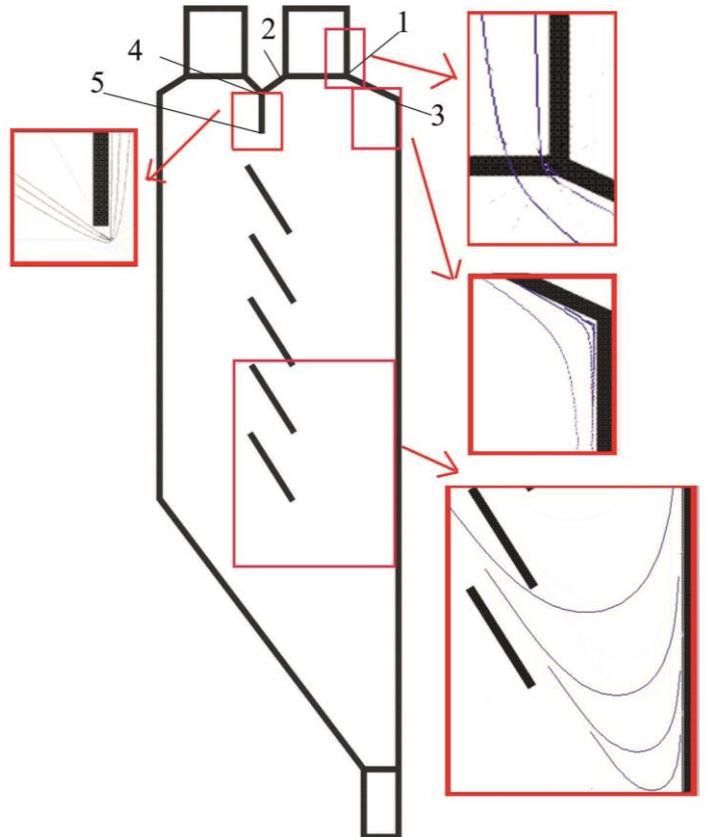


Рисунок 2.7 – Линии тока потока воздуха в пылесадителе

Зная проекции вектора скорости на оси полярной системы координат, можем получить проекции скорости в декартовых координатах. Учитывая, что модуль вектора скорости в указанном положении определяется как (рисунок 2.8)

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2} \quad (2.51)$$

и

$$\beta = \arctg \frac{V_\theta}{V_r}, \quad (2.52)$$

Компоненты вектора скорости (рисунок 2.8) в декартовых координатах будут

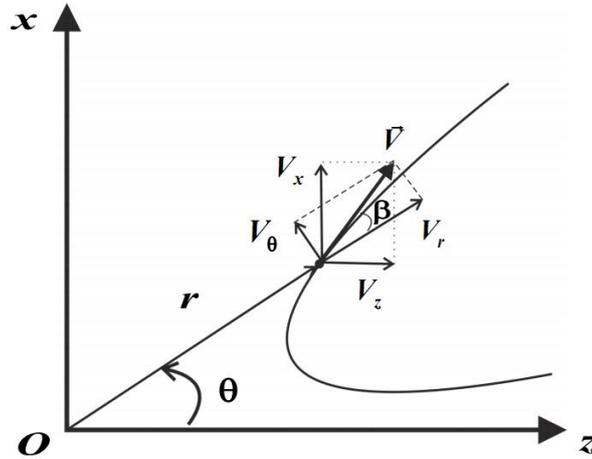


Рисунок 2.8 – Связь между компонентами скорости в полярной и декартовой системах координат

$$V_z = V \cos(\theta + \beta), \quad V_x = V \sin(\theta + \beta), \quad (2.53)$$

Поскольку скорость на бесконечности задана и равна  $V_\infty$ , то для нахождения коэффициента  $A$  перепишем условие (2.45) в следующем виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \vec{e}_\theta = \vec{V}_\infty, \quad (2.54)$$

что даст два уравнения

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = V_\infty \cos(\vec{V}_\infty, \hat{e}_r), \quad \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = V_\infty \cos(\vec{V}_\infty, \hat{e}_\theta). \quad (2.55)$$

Тогда из условий (2.51) и (2.55) найдутся коэффициенты  $A$

$$A = \frac{V_\infty}{n(z_\infty^2 + x_\infty^2)^{(n-1)/2}}. \quad (2.56)$$

В том случае, когда разряжение в выходном сечении будет недостаточное для резкого поворота потока, воздух будет обтекать лопатки. Лопатки имеют форму плоской пластины длиной  $2l$ . Задача обтекания плоской пластины решена с помощью введения комплексного потенциала скорости [50, 56]

$$\chi(z) = \varphi + i\psi, \quad (2.57)$$

являющегося аналитической функцией комплексного аргумента

$$z = x' + iy', \quad (2.58)$$

где  $x'y'$  – локальная прямоугольная система координат, связанная с центром лопатки так, как показано на рисунке 2.9.

Комплексная скорость определяется как

$$\frac{d\chi(z)}{dz} = V'_x - iV'_y. \quad (2.59)$$

При циркуляционном обтекании пластины комплексная скорость

$$\frac{d\chi(z)}{dz} = V_\infty \left\{ \cos \theta_\infty - i \sin \theta_\infty \sqrt{\frac{z-l}{z+l}} \right\}, \quad (2.60)$$

где  $\theta_\infty$  – угол атаки.

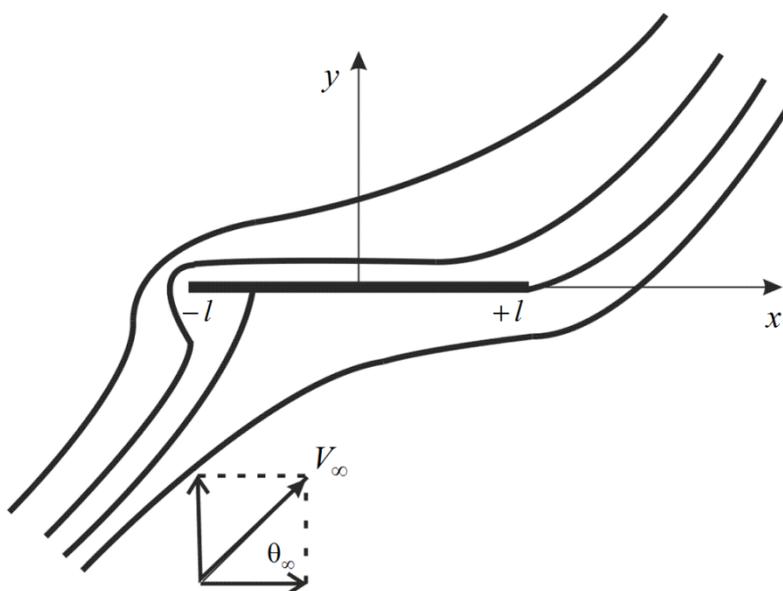


Рисунок 2.9 – Линии тока потока воздуха в случае плавного обтекания задней кромки лопатки

Переходя в глобальную систему координат  $xOz$ , получим скорость потока после обтекания лопатки

$$V_z = V'_x \cos \theta_\infty, V_x = V'_y \sin \theta_\infty. \quad (2.61)$$

В данном разделе построено решение задачи о нахождении поля скоростей потока воздуха в пылесадителе в плоской постановке, что дало возможность учесть изменение скорости движения при обтекании лопаток потоком воздуха.

### 2.3. Пространственное движение воздуха в пылесадителе

В тех случаях, когда область течения имеет сложную геометрию или потоку приходится обтекать различные преграды, истинную картину течения можно получить только из трехмерного моделирования. Модель газодинамических процессов в области со сложной геометрией строится на базе основных законов сохранения, применяемых ко всему множеству точек области решения, и сводится к системе уравнений, замыкаемых набором дополнительных связей: краевых условий, уравнений состояния и др. Система уравнений (интегральных или дифференциальных), описывающая газодинамические течения, численно решается в расчетной области. Расчетная область  $\Omega$  является отображением физической области. В задачах вычислительной аэрогидродинамики такое отображение выполняется с помощью разностных сеток, состоящих из элементарных объемов – ячеек. Форма ячеек, их расположение в расчетной области влияет на точность решений, и в некоторых случаях неудачный выбор сетки может привести к невозможности выполнения расчетов. Основы построения расчетных сеток даны в [16, 84, 124].

Моделирование пространственного движения воздуха в пылесадителе производится на основании уравнений (2.33) – (2.36) или (2.37) – (2.38). Поскольку движение турбулентное, то для нахождения Рейнольдсовых напряжений используется  $k - \varepsilon$  модель турбулентности [57]

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} - \varepsilon, \quad (2.62)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (2.63)$$

где  $k, \varepsilon$  – кинетическая энергия и скорость ее диссипация,

$\nu_t$  – турбулентная вязкость,

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}$  – эмпирические константы.

Система уравнений движения замыкается уравнением состояния, начальными и граничными условиями.

$$p = p(\rho, T) \quad (2.64)$$

$$\{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t) = \{p, \vec{V}\}(\vec{x}, 0), \quad \vec{x} \in \Omega, \quad (2.65)$$

$$\{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t) = \{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t), \quad \vec{x} \in \Gamma, \forall t \quad (2.66)$$

Расчетная область отображена на блочно-структурированную гексаэдральную сетку (рисунок 2.10). Сетка произвольным образом пересекает поверхность модели. Такой подход к построению сетки наиболее универсален, надежен, прост в использовании и является отличительной особенностью ряда прикладных программных продуктов [13, 15].

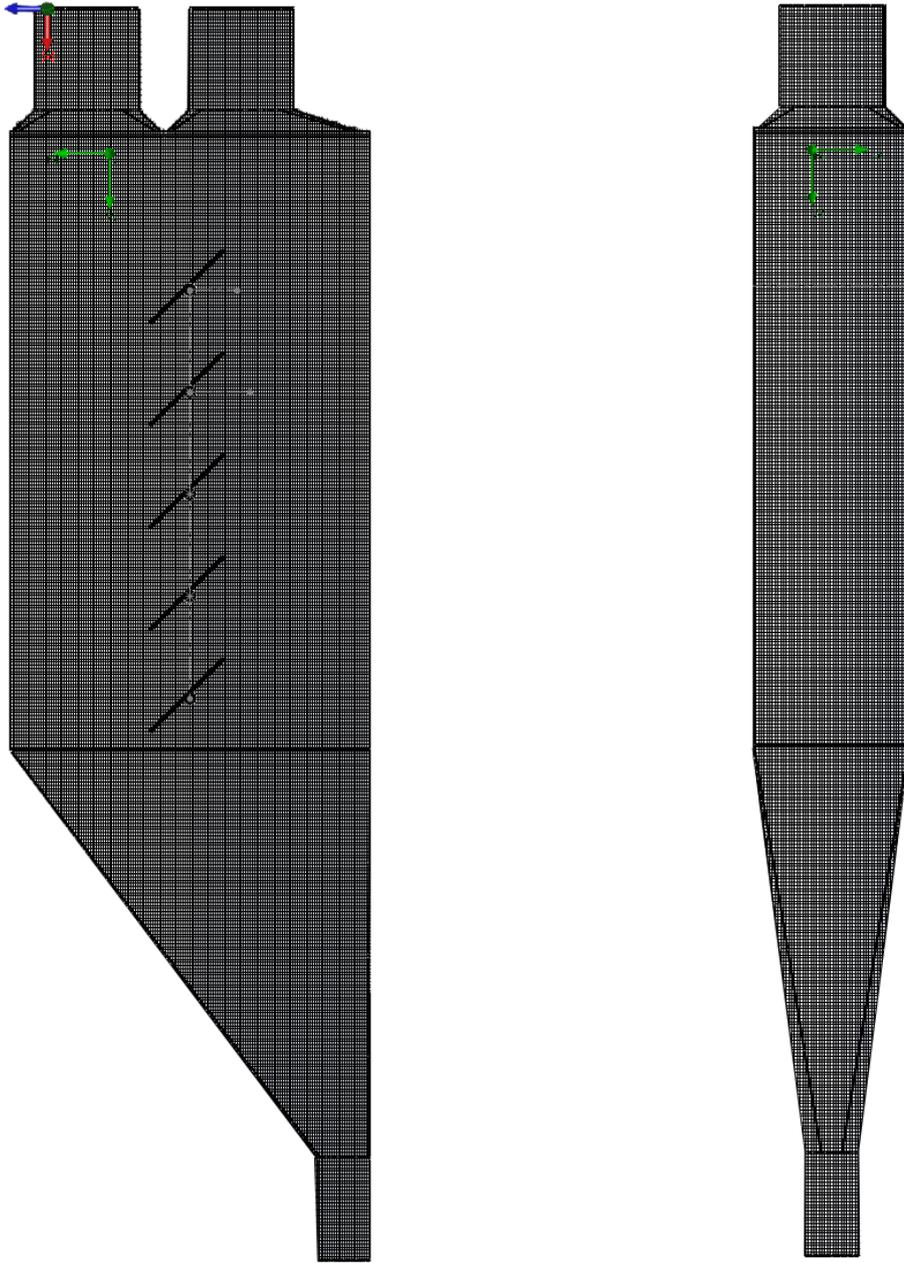


Рисунок 2.10 – Расчетная область, покрытая прямоугольной сеткой

Численное решение уравнений (2.33) – (2.36), (2.62), (2.63) с учетом условий (2.64) – (2.66) получено при помощи метода конечных объемов [14]. Результаты расчетов скорости и давления в пылесадителе представлены на рисунках 2.11-2.15.

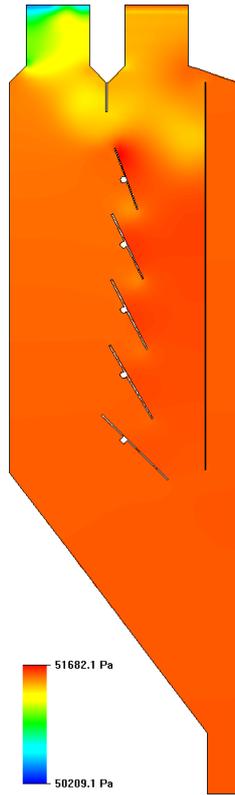


Рисунок 2.11 – Поле давлений в пылесадителе в начальный момент времени

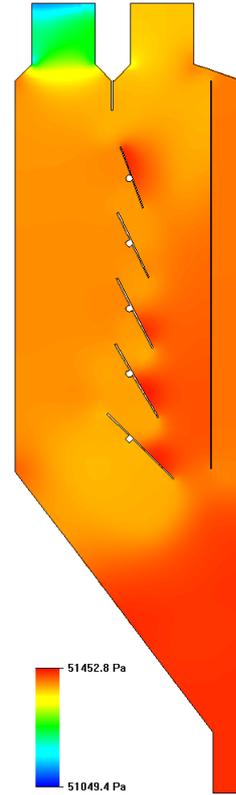


Рисунок 2.12 – Поле давлений установившегося процесса в пылесадителе

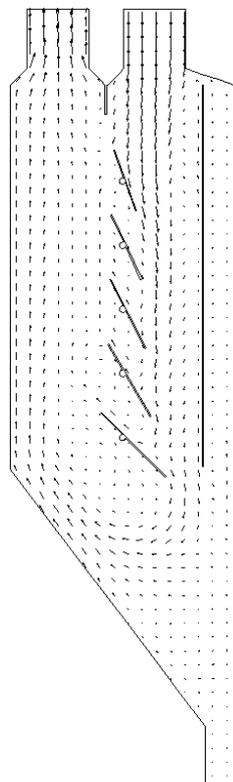


Рисунок 2.13 – Вектора скорости установившегося процесса в пылесадителе

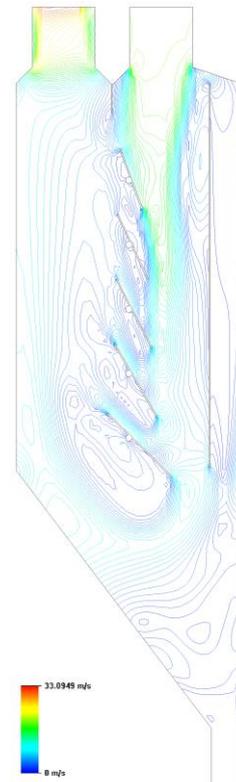


Рисунок 2.14 – Изолинии скорости установившегося процесса в пылесадителе

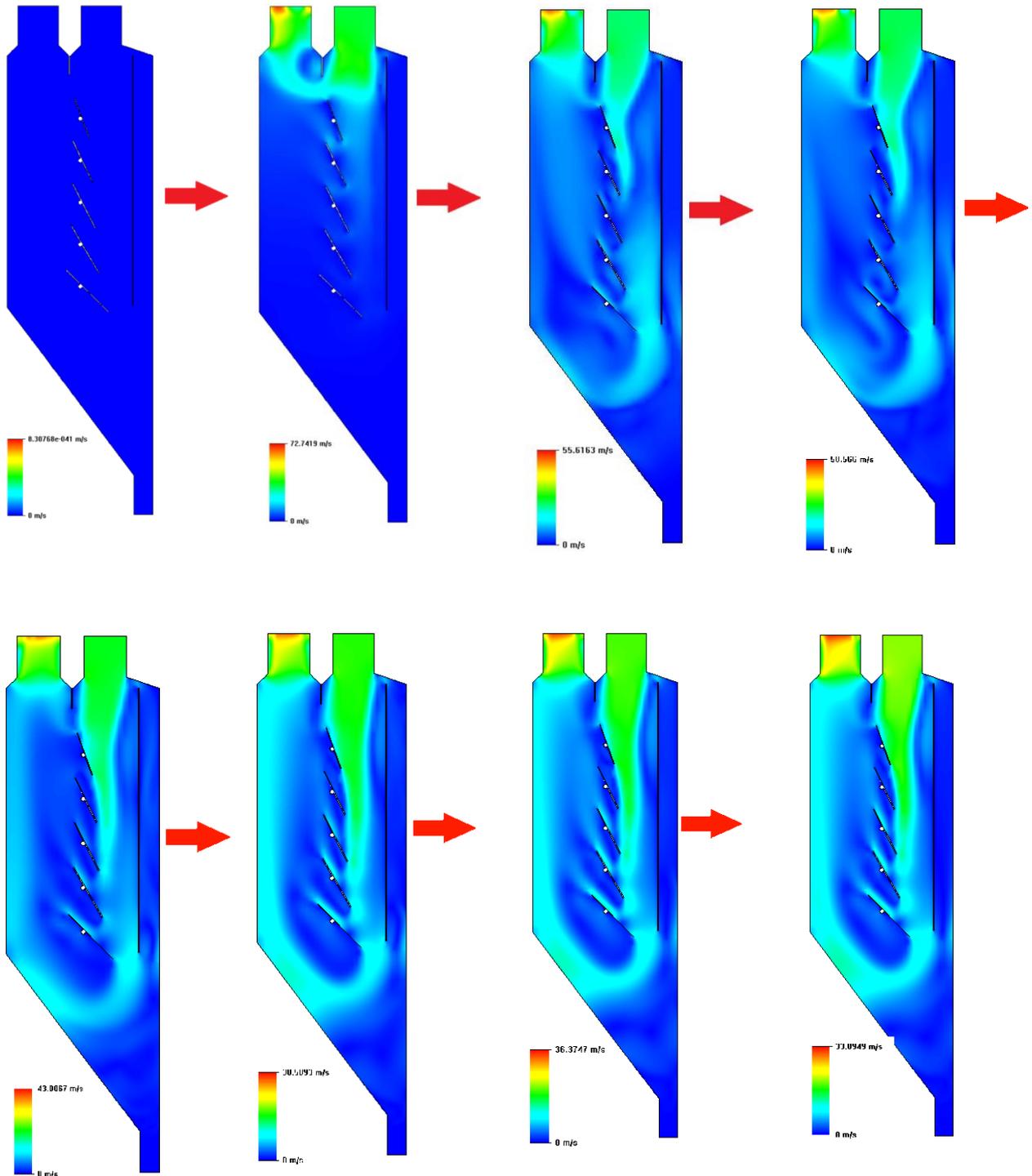


Рисунок 2.15 – Динамика развития поля скоростей в пылесадителе в различные моменты времени

На основании рисунка 2.15 можно сделать вывод, что отражающие лопатки и ложная стенка внутри пылесадителя выполняют роль дефлекторов, т.е. отклоняют поток, что приводит к увеличению времени нахождения взвешенных

частиц в пылеосадителе и снижение их кинетической энергии. При этом будет возрастать роль сил инерции на движение частиц.

Численное моделирование трехмерного течения воздуха в пылеосадителе позволило получить картину течения и основные характеристики течения (скорость и давление) от момента подачи воздуха в пылеосадитель до момента установления течения.

#### **2.4. Уравнение движения взвешенной в потоке воздуха частицы в пылеосадителе**

Гравитационное осаждение (седиментация) в пылеосадителе происходит в результате вертикального оседания частиц под действием силы тяжести. При движении на частицу действуют следующие силы: сила тяжести  $\vec{G}$ , сила сопротивления  $\vec{F}_X$  и подъемная (архимедова) сила  $\vec{F}_A$ .

Сила сопротивления задается следующим выражением

$$F_X = C_X S \frac{\rho(U - v)^2}{2}, \quad (2.67)$$

где  $C_X$  – коэффициент аэродинамического сопротивления среды,

$S$  – площадь миделевого сечения частицы,

$\rho$  – плотность воздуха,

$U$  – скорость воздуха,

$v$  – скорость частицы.

Эта сила направлена противоположно вектору скорости среды.

Коэффициент сопротивления среды  $C_X$  поставлен в зависимость от режима осаждения, т.е. является функцией числа Рейнолдса  $Re$

$$C_X = f(Re), \quad (2.68)$$

где  $Re = \frac{v_p d}{\nu}$ ,  $v_p = |U - v|$  – относительная скорость частицы,

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости.

Вычисляют коэффициент сопротивления следующим образом [59]:

$$C_X = \frac{24}{Re}, \quad Re < 2; \quad (2.69)$$

$$C_X = \frac{18,5}{Re^{0,6}}, \quad 2 < Re < 500; \quad (2.70)$$

$$C_X = 0,44, \quad Re > 500. \quad (2.71)$$

Удачной считается зависимость [61]

$$C_X = 8 \left( \frac{3}{Re} + \frac{0,45}{Re^{4/9}} + 0,042 \right). \quad (2.72)$$

В [78] указывается, что в диапазоне  $1 < Re < 10^3$  наиболее точно коэффициент лобового сопротивления задается формулой Клячко

$$C_X = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}. \quad (2.73)$$

Подъемная сила принимается пропорциональной массе среды, вытесненной частицей:

$$F_A = m \frac{\rho}{\rho_p} g, \quad (2.74)$$

где  $\rho_p$  – плотность материала частицы. Направлена эта сила вертикально вверх.

Движение сферической частицы в газовой среде описывается вторым законом Ньютона

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i, \quad (2.75)$$

где  $\sum_i \vec{F}_i$  – главный вектор действующих на частицу в газовом потоке сил.

В случае если частица опускается вертикально вниз под действием направленного вниз потока, уравнение будет следующим

$$m \frac{dv}{dt} = -C_X S \frac{\rho(U-v)^2}{2} + mg - mg \frac{\rho}{\rho_p}. \quad (2.76)$$

Данное уравнение осаждения, представленное соотношением (2.76), справедливо для любых режимов осаждения при известной скорости движения среды  $U = f(z, t)$ . Подставляя сюда формулу Клячко, получим

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{S\rho}{2} \left( 24 \frac{v}{d} (U - v) + 4 \left( \frac{v}{d} \right)^{1/3} (U - v)^{5/3} \right) + g \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right), \quad (2.77)$$

или

$$-\frac{dv}{dt} = (U - v) \left( A + B(U - v)^{2/3} \right) + C, \quad (2.78)$$

где

$$A = 12S\rho \frac{v}{d}, \quad B = 2S\rho \left( \frac{v}{d} \right)^{1/3}, \quad C = -g \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right). \quad (2.79)$$

Уравнение (2.78) представляет собой обыкновенное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка относительно скорости. Решение этого уравнения представимо в виде суммы решения общего однородного  $v_1$  и частного неоднородного решения  $v_2$ . Однородное уравнение

$$-\frac{dv}{dt} = (U - v) \left( A + B(U - v)^{2/3} \right) \quad (2.80)$$

в том случае, когда скорость среды постоянна и направлена вертикально вниз, согласно [78], может быть решено аналитически. Такое решение однородного уравнения представляется в виде [78]

$$v_1 = U_0 - U_0 e^{-At} \left[ 1 + \frac{B}{A} U_0^{2/3} \left( 1 - e^{-\frac{2}{3}At} \right) \right]^{-\frac{3}{2}}. \quad (2.81)$$

Графики решения общего однородного уравнения при различных скоростях входящего потока и различных диаметрах частицы представлены на рисунке 2.16, 2.17.

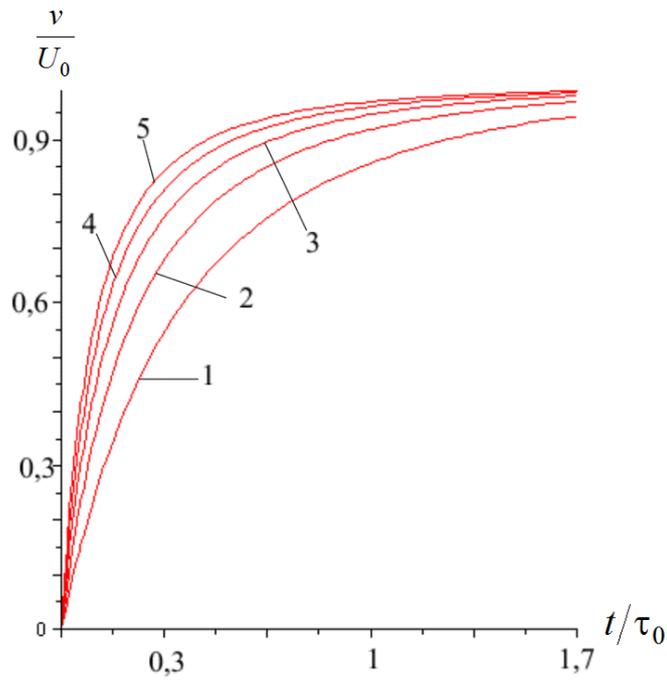


Рисунок 2.16 – Изменение скорости частицы при различной скорости  $U_0$ :

1 – 5 м/с, 2 – 10 м/с, 3 – 15 м/с, 4 – 20 м/с, 5 – 25 м/с

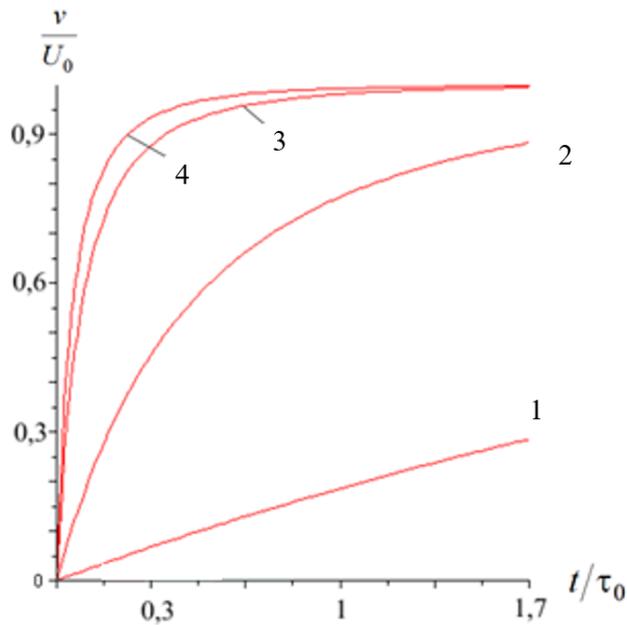


Рисунок 2.17 – Изменение скорости частицы при различном диаметре  $d$ :

1 – 15 мкм, 2 – 50 мкм, 3 – 100 мкм, 4 – 150 мкм

Рисунок 2.16 показывает, что достижение частицей скорости стационарного движения происходит тем быстрее, чем выше скорость потока. Аналогично на

скорости достижения влияет и размер частицы (рисунок 2.17): чем больше частица, тем быстрее она достигает стационарной скорости. Мелкие же частицы на стационарную скорость не выходят – они продолжают движение вместе с воздухом.

Частное неоднородное решение может быть найдено либо специальными методами, либо подбором. Найдем частное неоднородное решение  $v_2$ , предполагая, что оно равно константе

$$v_2 = \text{const} = D. \quad (2.82)$$

Учитывая, что частное неоднородное решение должно удовлетворять исходному уравнению, подставляем его в (2.78) и получаем для нахождения константы  $D$  следующее уравнение

$$(U - D)(A + B(U - D)^{2/3}) + C = 0. \quad (2.83)$$

Решение этого уравнения зависит от постоянных  $A, B, C, U$  и в общем случае зависимость между этими константами получить не удастся. Но можно исследовать это решение. Для этого сделаем замену  $U - D = x$ . Тогда уравнение (2.83) примет вид

$$x(A + Bx^{2/3}) + C = 0. \quad (2.84)$$

Так как  $A, B > 0$ ,  $C < 0$ , то функция  $f(x) = x(A + Bx^{2/3}) + C$  при  $x \rightarrow -\infty$  стремится к  $-\infty$ , а при  $x \rightarrow +\infty$   $f(x) \rightarrow +\infty$ . Это значит, что уравнение имеет хотя бы один корень. Записав уравнение в следующем виде

$$A + Bx^{2/3} = -\frac{C}{x}, \quad (2.85)$$

получим, что левая часть – это функция, график которой лежит в первом и втором квадранте, а правая – гипербола, график которой лежит в первом и третьем квадранте. Следовательно, данное уравнение имеет один корень на промежутке  $(0, +\infty)$ , т.е. лежит в первой четверти декартовой плоскости (рисунок 2.18).

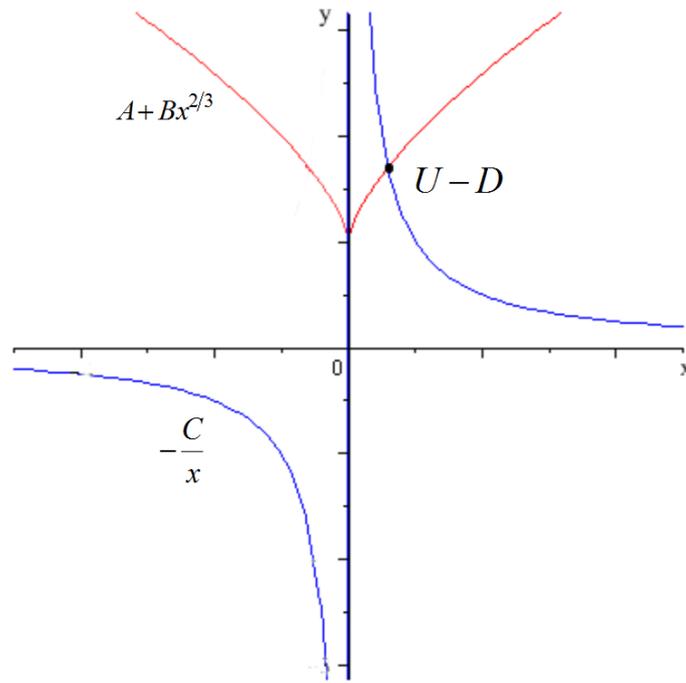


Рисунок 2.18 – Доказательство существования единственного корня уравнения

Сделаем замену переменных  $x^{1/3} = y$ . Тогда  $x = y^3$  и уравнение (2.84) примет вид

$$y^3(A + By^2) + C = 0 \quad (2.86)$$

Согласно теореме Виета [29], это уравнение будет иметь корень при следующем соотношении между постоянными

$$\left(\frac{A}{10}\right)^5 \frac{1}{B^3} = C^2. \quad (2.87)$$

Будем рассматривать сферическую частицу. Для такой частицы площадь миделевого сечения  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ . Тогда коэффициенты  $A, B$  примут вид

$$A = 3\pi d \rho v, \quad B = \frac{1}{2} \pi d^{\frac{5}{3}} \rho v^{1/3}. \quad (2.88)$$

Соотношение (2.87) с учетом (2.88) даст связь между кинематической вязкостью и плотностью, при которой справедливо уравнение (2.86)

$$v^4 = 51,44 \left[ \frac{g}{\pi} \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_p} \right) \right]^2. \quad (2.89)$$

Общее решение уравнения (2.78)

$$v = U_0 - U_0 e^{-A \cdot t} \left[ 1 + \frac{B}{A} U_0^{2/3} \left( 1 - e^{-\frac{2}{3} A \cdot t} \right) \right]^{-\frac{3}{2}} + D. \quad (2.90)$$

График общего решения в безразмерном виде ( $\tau_0$  – время релаксации [78]) представлен на рисунке 2.19.

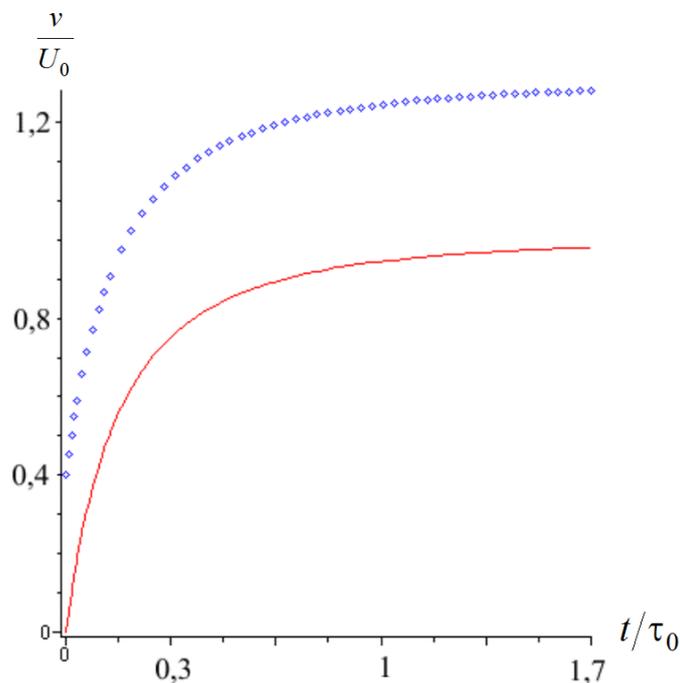


Рисунок 2.19 – График изменения скорости частицы со временем: линия – однородное решение,  $\circ$  – общее решение

Решение (2.90) показывает, что скорость частицы при вертикальном движении в пылеосадителе возрастает благодаря массовым силам, действующим на частицу. Если скорость потока равна нулю ( $U_0 = 0$ ), то скорость движения частицы будет  $v = D$ .

В том случае, когда скорость потока не является постоянной величиной, решение уравнения (2.78) возможно только численно. При этом необходимо предварительно вычислить скорость потока.

Если скорость потока является функцией двух переменных  $U = f(z, x)$ , уравнение (2.75) в проекцию на оси даст два уравнения

$$m \frac{dv_z}{dt} = -C_X S \frac{\rho |U_z - v_z| (U_z - v_z)}{2} + mg - mg \frac{\rho}{\rho_p}, \quad (2.91)$$

$$m \frac{dv_x}{dt} = -C_X S \frac{\rho |U_x - v_x| (U_x - v_x)}{2}. \quad (2.92)$$

Перейдя от производных по времени к производным по координатам, получим

$$v_z \frac{dv_z}{dz} = -C_X S \frac{\rho |U_z - v_z| (U_z - v_z)}{2m} + g \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right), \quad (2.93)$$

$$v_x \frac{dv_x}{dx} = -C_X S \frac{\rho |U_x - v_x| (U_x - v_x)}{2m}. \quad (2.94)$$

Уравнения (2.93) – (2.94) совместно с уравнениями (2.14) – (2.16), (2.22), (2.26), (2.29) – (2.30) (в одномерном случае), (2.47), (2.51) – (2.53), (2.56), (2.60) – (2.61) (в плоском случае) дают возможность численно найти решение задачи о движении воздуха со взвешенными в потоке частицами. Для нахождения решения задачи о трехмерном движении взвешенной частицы в потоке воздуха нужно совместно решать уравнения (2.93) – (2.94) с уравнениями (2.33) – (2.36), (2.62), (2.63). Такой подход является наиболее универсальным и позволяет решать задачу о движении взвешенной в потоке воздуха частице для геометрических объектов любой сложности.

Таким образом, получена полная система уравнений движения взвешенной частицы в потоке воздуха. Получено решение задачи о нахождении скорости вертикального осаждения частицы при движении в пылеосадителе.

## 2.5. Удар частицы о лопатку

При ударе сферической частицы о лопатку должна измениться скорость центра масс частицы. Пусть частица массы  $m_1$ , движущаяся с некоторой

скоростью  $V$ , ударяется о неподвижную лопатку массы  $m_2$ , расположенную под углом  $\gamma$  к оси  $x$ . Поверхность тела и лопатки считаем абсолютно гладкими.

Проекции скорости центра тяжести падающего тела на оси  $\vec{n}$  и  $\vec{\tau}$  (рисунок 2.20) имеют вид

$$V_n = V \cos \delta, \quad V_\tau = V \sin \delta, \quad (2.95)$$

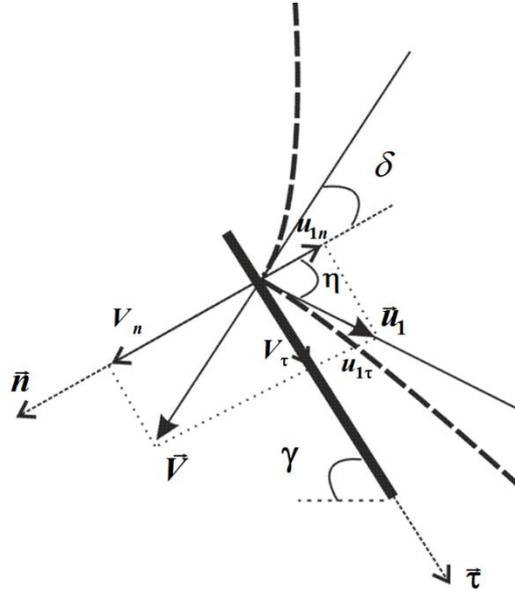


Рисунок 2.20 – Удар частицы о лопатку в пылесадителе

Будем рассматривать косою частично упругий удар. Рассмотрение удара проводим в два этапа [77]. На первом этапе совершается деформация соударяющихся тел. В конце этого этапа скорость центра тяжести частицы имеет вид

$$u_n = \frac{m_1 V_n}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 / m_2}{m_1 / m_2 + 1} V_n. \quad (2.96)$$

Эта скорость – скорость неупругого удара.

В течение второго этапа происходит частичное восстановление недеформированного состояния. В момент начала второго этапа частица обладает такой же скоростью, как и в момент окончания первого. Проекция скорости центра тяжести частицы в конце второго этапа (в конце удара) равны

$$u_{1\tau} = V_\tau = V \sin \delta, \quad (2.97)$$

$$u_{1n} = u_n + k(u_n - V_n) = \frac{\frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1} V \cos \delta + \kappa \left( \frac{\frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1} V \cos \delta - V \cos \delta \right), \quad (2.98)$$

где  $\kappa$  – коэффициент восстановления ( $0 < \kappa < 1$ ). После приведения формулу (2.98) можно записать

$$u_{1n} = u_n + k(u_n - V_n) = \frac{\frac{m_1}{m_2} - \kappa}{\frac{m_1}{m_2} + 1} V \cos \delta, \quad (2.99)$$

Модуль скорости центра тяжести частицы в конце удара с учетом (2.97)–(2.99)

$$u_1 = \sqrt{u_{1\tau}^2 + u_{1n}^2} = \sqrt{(V \sin \delta)^2 + \left( \frac{\frac{m_1}{m_2} - \kappa}{\frac{m_1}{m_2} + 1} V \cos \delta \right)^2}. \quad (2.100)$$

Отражение частицы будет происходить под углом  $\eta$ , тангенс которого равен

$$tg\eta = \left| \frac{u_{1n}}{u_{1\tau}} \right| = \left| \frac{V \sin \delta}{\frac{\frac{m_1}{m_2} - \kappa}{\frac{m_1}{m_2} + 1} V \cos \delta} \right| = \left| \frac{tg\delta}{\frac{\frac{m_1}{m_2} - \kappa}{\frac{m_1}{m_2} + 1}} \right| = \left| tg\delta \cdot \frac{\frac{m_1}{m_2} + 1}{\frac{m_1}{m_2} - \kappa} \right|. \quad (2.101)$$

Поскольку рассматриваются частицы массой, не превышающей  $1,3 \cdot 10^{-5}$  кг, то  $m_2 \gg m_1$ . Тогда можно считать  $\frac{m_1}{m_2} \approx 0$  и с учетом этого условия формулы

(2.99), (2.100), (2.101) примут вид

$$u_{1n} = -\kappa V \cos \delta, \quad (2.102)$$

$$u_1 = \sqrt{V^2 \sin^2 \delta + \kappa^2 V^2 \cos^2 \delta}, \quad (2.103)$$

$$tg\eta = \left| \frac{tg\delta}{-\kappa} \right|. \quad (2.104)$$

В случае абсолютно упругого удара  $\kappa = 1$  и

$$u_{1n} = 2u_n - V_n = -V \cos \delta, \quad (2.105)$$

$$u_1 = V, \quad (2.106)$$

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \delta. \quad (2.107)$$

Полученные формулы дают возможность учета изменения вектора скорости частицы при отражении от лопатки в случае упругого или частично упругого удара.

## 2.6. Гидравлическое сопротивление пылесадителя

Важной характеристикой пылесадителя является его гидравлическое сопротивление, т.е. значение энергозатрат в Дж на очистку  $1 \text{ м}^3$  воздуха. Полное сопротивление складывается из потерь напора на входе в подводящий патрубок, на направляющем устройстве на выходе, на преодоление трения газового потока о стенки корпуса и на поворот потока.

На входе, представляющем собой диффузор с переходом круга на прямоугольник (рисунок 2.21), гидравлическое сопротивление определяется, согласно [76], следующим выражением

$$\Delta p_{ex} = \zeta \frac{\rho v_0^2}{2} = (\zeta_{\text{ТР}} + \zeta_{\text{расш}}) \frac{\rho v_0^2}{2}. \quad (2.108)$$

Коэффициент трения вычисляется по формуле [42]

$$\zeta_{\text{ТР}} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n_{\text{ПП}}^2} \right), \quad (2.109)$$

эквивалентный угол расширения определяется соотношением (см. рис 2.21)

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2\sqrt{a_1 b_1 / \pi} - D_0}{2l_D}, \quad (2.110)$$

$\lambda = f(\text{Re}, \bar{\Delta})$  вычисляется по таблицам и диаграмм [42],  $n_{\text{П1}} = S_1/S_0$  - степень расширения диффузора.

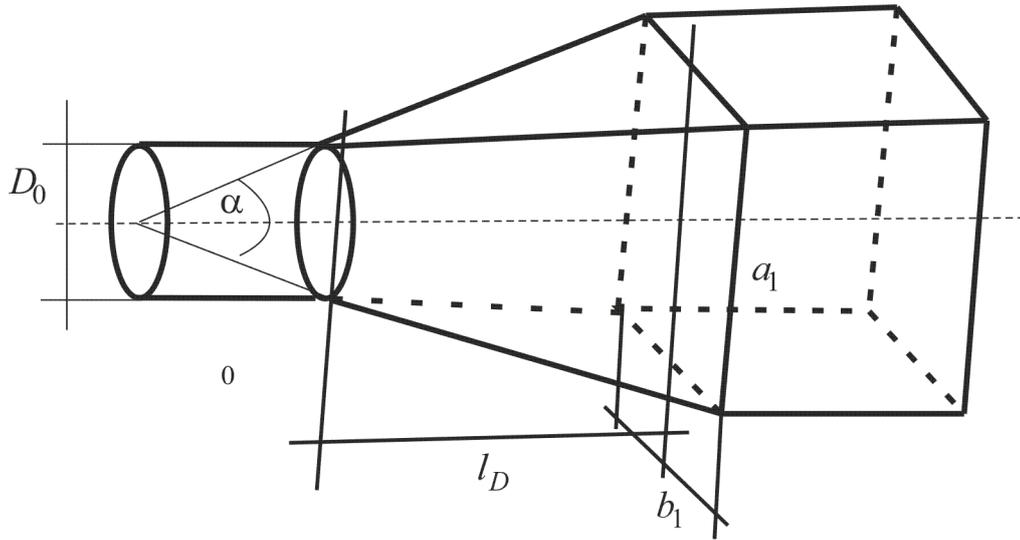


Рисунок 2.21 – Схема входного диффузора

Коэффициент сопротивления расширению определяется выражением

$$\zeta_{\text{расш}} = 3,2k_D \text{tg}^{1,25} \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{1}{n_{\text{П1}}} \right), \quad (2.111)$$

где  $k_D$  определяется в зависимости от диффузора.

Для выхода, который является конфузуром, гидравлическое сопротивление равно

$$\Delta p_{\text{вых}} = \zeta \frac{\rho v_0^2}{2} = (\zeta_{\text{ТР}} + \zeta_{\text{М}}) \frac{\rho v_0^2}{2}. \quad (2.112)$$

Коэффициент сопротивления трения представляется формулой (2.109).

Коэффициент местного сопротивления

$$\zeta_{\text{М}} = \left( -0,0125n_0^4 + 0,0224n_0^3 - 0,00723n_0^2 + 0,00444n_0 - 0,00745 \right) \times \left( \alpha_p^3 - 2\pi\alpha_p^2 - 10\alpha_p \right), \quad (2.113)$$

где  $\alpha_p = 0,01745 \cdot \alpha$ ,  $n_0 = S_0/S_1$  - степень сужения.

В пределах  $10^\circ < \alpha < 40^\circ$  общий коэффициент сопротивления остается почти постоянным и равным  $\zeta = \zeta_{\text{ТР}} + \zeta_{\text{М}} \approx 0,05$ .

Гидравлическое сопротивление плоского поворота потока на  $180^\circ$  равно

$$\Delta p_{\Pi} = \zeta_{\Pi} \frac{\rho v_0^2}{2}, \quad (2.114)$$

где  $\zeta_{\Pi \min} = 4,0 - 4,2$ .

При обтекании решетки лопаток гидравлическое сопротивление будет равно

$$\Delta p_{\text{Л}} = \zeta_{\text{Л}} \frac{\rho v_0^2}{2} = \sigma_1 \sigma_2, \quad (2.115)$$

где  $\sigma_{1 \max} = 1,33$  при угле атаки  $\theta_{\infty} = 40^\circ$ , а  $\sigma_{2 \max} = 4,7$  при угле атаки  $\theta_{\infty} = 60^\circ$ .

При движении воздуха с твердыми примесями потери давления можно посчитать следующим образом. Записав уравнение Бернулли для сечения  $S_1$  и  $S_2$  (рисунок 2.2), получим

$$p + \frac{\rho u^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \vartheta^2}{2} + \Delta p, \quad (2.116)$$

откуда

$$\Delta p = p - p_2 + \frac{\rho(u^2 - \vartheta^2)}{2}. \quad (2.117)$$

Напишем уравнение сохранения количества движения в проекции на ось  $z$  с учетом сил трения о стенку камеры:

$$pS_1 - p_2S_2 - \tau_0 PH - \sum f_z = \rho \vartheta^2 S_2 - \rho u^2 S_1, \quad (2.118)$$

где  $P$  – периметр камеры,  $\tau_0 = \frac{\lambda \rho V^2}{4 \cdot 2}$  [75]. Отсюда

$$p - p_2 = p_2 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) + \tau_0 \frac{PH}{S_1} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \rho \left( \vartheta^2 \frac{S_2}{S_1} - u^2 \right). \quad (2.119)$$

Подставляя (2.119) в (2.118), получим

$$\Delta p = p_2 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) + \tau_0 \frac{PH}{S_1} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \rho \left( \vartheta^2 \frac{S_2}{S_1} - u^2 \right) + \frac{\rho(u^2 - \vartheta^2)}{2} \quad (2.120)$$

Проинтегрировав (2.6), найдем давление  $p_2$

$$p_2 = -\rho\vartheta^2 + \int_0^H \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v-\vartheta)|v-\vartheta|}{2} dz. \quad (2.121)$$

Подставив в (2.120), получим

$$\begin{aligned} \Delta p = & \left( \frac{\lambda(u+\vartheta)^2}{4} PH + \vartheta^2(4S_2 - 3S_1) - S_1 u^2 \right) \frac{S_1 \rho}{2} + \frac{\sum f_z}{S_1} + \\ & + \left( 1 - \frac{S_2}{S_1} \right) \int_0^H \rho C_X \beta \frac{S_p}{V_p} \frac{(v-\vartheta)|v-\vartheta|}{2} dz \end{aligned} \quad (2.122)$$

Полное гидравлическое сопротивление будет

$$\Delta p_{\text{пол}} = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{вых}} + \Delta p_{\text{П}} + \Delta p_{\text{Л}} + \Delta p. \quad (2.123)$$

Формула (2.123) дает возможность определить полное гидравлическое сопротивление пылеосадителя при различных геометрических размерах пылеосадителя и различных углах наклона отражающих лопаток. В таблице 2.1 показаны расчеты по гидравлическому сопротивлению пылеосадителя при различных скоростях на входе при следующих данных:  $d = 100$  мкм,  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>,  $S_0 = 7,24 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>,  $S_1 = 3,75 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>,  $S_2 = 2,25 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>,  $P = 1000$  мм,  $H = 600$  мм,  $\lambda = 0,075$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $C_X = 1,8$ ,  $\beta = 0,4$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2.1 – Результаты расчета по гидравлическому сопротивлению пылеосадителя

$v_0$ , м/с	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00
$\Delta p_{\text{пол}}$ , Па	105,46	221,15	375,67	548,06	936,28
$\Delta p$ , Па (экспериментальное)	97	205	357	576	890

График изменения гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока имеет квадратичный вид и показан на рисунке 2.22.

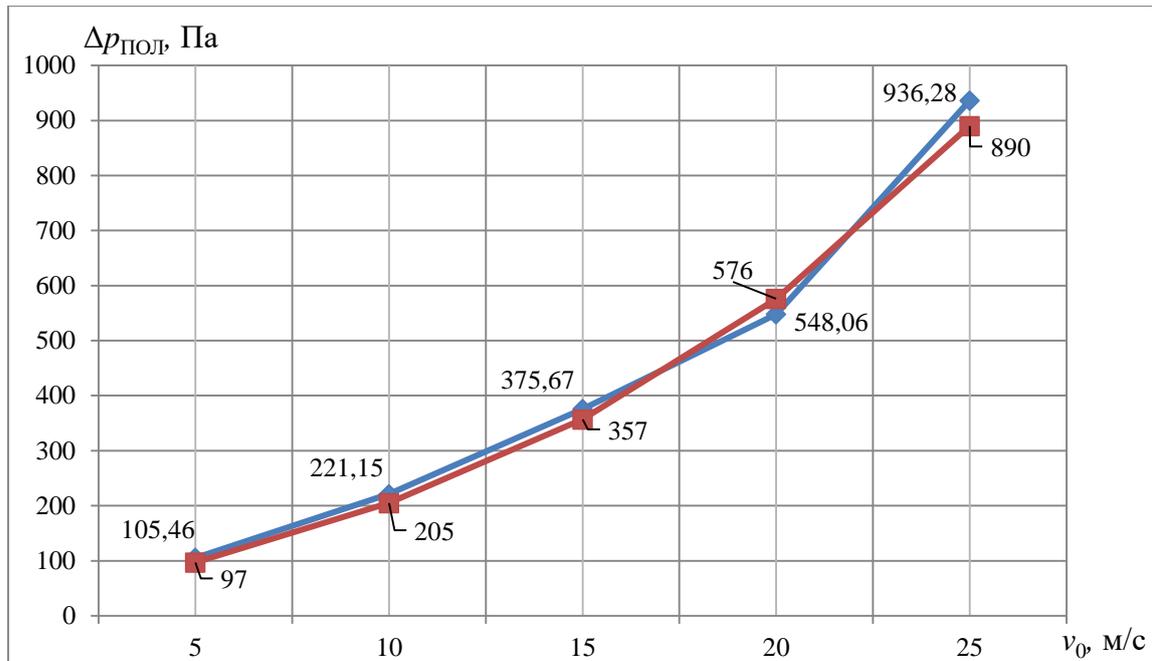


Рисунок 2.22 – Изменение гидравлического сопротивления в зависимости от скорости входного потока: синяя линия – теоретические (расчетные) значения; красная линия – экспериментальные значения.

На рисунке 2.22 видно, что максимальные значения гидравлического сопротивления возникают при скорости входного потока  $v_0=25$  м/с. Это наблюдается как при теоретическом расчете, так и при экспериментальных данных. Максимальное отклонение данных полученных на экспериментальной установке от расчетных значений составляет 8 %.

Вклад в гидравлическое сопротивление слагаемых формулы (2.123) при скорости входного потока 25 м/с показан на рисунке 2.23.

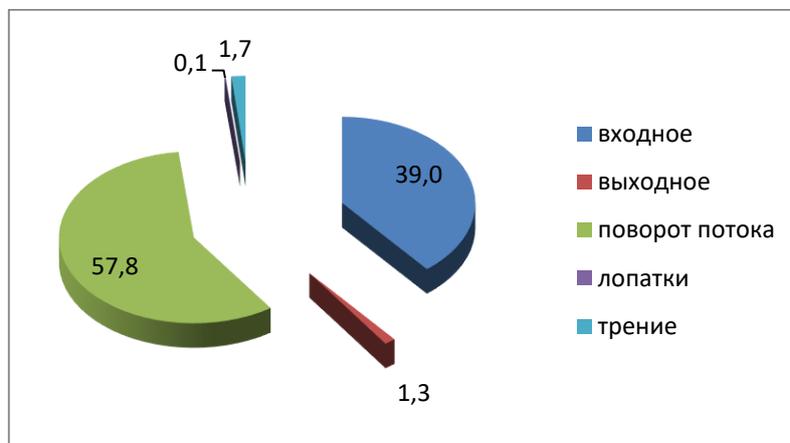


Рисунок 2.23 – Диаграмма вклада (в %) в гидравлическое сопротивление различных слагаемых

Диаграмма 2.23 показывает, что наибольший вклад в гидравлическое сопротивление пылесадителя дает входное сопротивление и сопротивление на поворот потока. Эти сопротивления, в основном, зависят от скорости входящего потока. Потери на трение и сопротивление межфазового взаимодействия не превышают 2 %.

При этом сопротивление межфазового взаимодействия в пылесадителе инерционного типа при тех же данных и скорости входного потока  $v_0=25$  м/с зависит от диаметра частиц – чем меньше частицы, тем больше сила сопротивления. Изменение гидравлического сопротивления пылесадителя в зависимости от размера частиц приведено на рисунке 2.24.

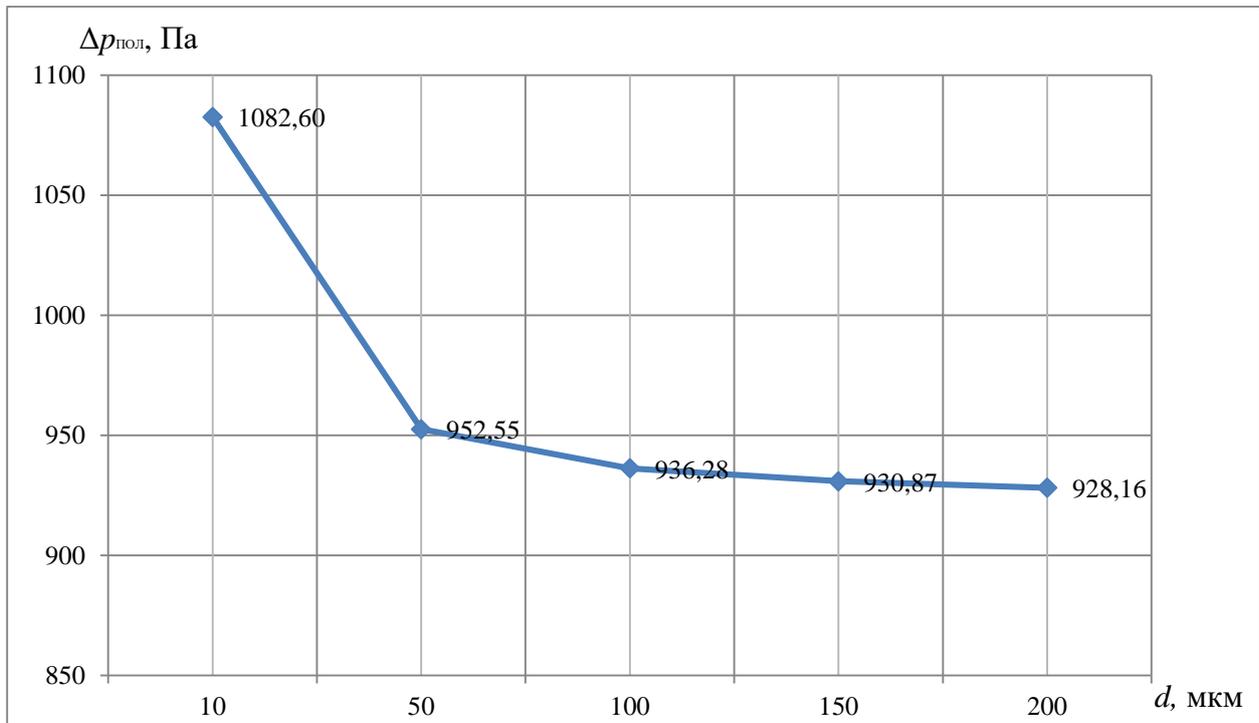


Рисунок 2.24 – Изменение гидравлического сопротивления пылесадителя в зависимости от диаметра частиц

На рисунке 2.24 представлена зависимость, которая имеет убывающий характер. С увеличением диаметра частиц  $d$  значение полного гидравлического сопротивления уменьшается. При уменьшении диаметра частиц меньше 50 мкм, значение гидравлического сопротивления начинает резко возрастать. При работе пылесадителя инерционного типа с частицами 50-200 мкм, значение

гидравлического сопротивления варьируется от 952 Па до 928 Па. Так для диаметра частиц  $d=200$  мкм полное гидравлическое сопротивление составляет  $\Delta p_{\text{пол}}=928,16$  Па.

Таким образом, гидравлическое сопротивление пылеосадителя инерционного типа зависит, в основном, от скорости потока на входе и диаметра частиц. С увеличением скорости растет гидравлическое сопротивление. Обратный эффект с увеличением размера частицы – чем больше частица, тем меньше гидравлическое сопротивление пылеосадителя.

## 2.7. Эффективность осаждения частиц

Согласно уравнению (2.91) ускорение вертикального движения частиц определяется результирующим действием силы тяжести, Архимеда и сопротивления среды. В случае газов силой Архимеда можно пренебречь. Для учета влияния объемной концентрации частиц в потоке силу сопротивления выразим уравнением (2.2). Проводя элементарные преобразования [35], получим

$$C_X \text{Re}^2 = \rho \frac{(\rho_p - \rho)d^3}{3\mu\beta \frac{S_p}{V_p}} g. \quad (2.124)$$

Откуда получим скорость витания частиц с учетом отражения частицы от лопатки (2.107)

$$v_B = \frac{(\rho_p - \rho)d^2}{18\mu\beta \frac{S_p}{V_p} \cos(\pi - 2\gamma)} g. \quad (2.125)$$

Затем рассчитаем параметры очистки  $x_1$  и  $x_2$  (параметры функции парциального распределения  $\Phi(x)$ ) по формулам [35]:

$$x_1 = \frac{H + h - L \frac{v_B}{v}}{\sqrt{2D_t - \frac{l}{v}}}, \quad x_2 = \frac{H - h - L \frac{v_B}{v}}{\sqrt{2D_t - \frac{l}{v}}}, \quad (2.126)$$

где  $h$  – расстояние от потолка камеры,

$D_t$  – коэффициент турбулентной диффузии частиц.

Далее по значениям  $x_1$  и  $x_2$  найдем интегралы вероятностей  $\Phi(x_1)$  и  $\Phi(x_2)$  и подсчитаем отношение концентрации частиц данного размера в расчетной точке выходного сечения камеры к их концентрации во входном сечении  $N_i$

$$N_i = \Phi(x_1) + \Phi(x_2) - 1, \quad (2.127)$$

Усредним значение  $N$  по сечению, вычисляя его как среднее арифметическое по высоте сечения:

$$N_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{k}. \quad (2.128)$$

Далее считаем средний парциальный коэффициент осаждения частиц рассматриваемого размера:

$$\varepsilon_{\text{п.ср}} = 100 - N_{\text{ср}}. \quad (2.129)$$

После этого найдем полный коэффициент очистки как сумму произведений долей частиц соответствующих фракций на их фракционные коэффициенты очистки

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_{\text{п}} \frac{N}{100} \Delta d. \quad (2.130)$$

Формула (2.130) дает возможность определить эффективность улавливания частиц при различных геометрических размерах пылеосадителя, углах наклона отражающих лопаток и концентрации запыленного воздуха.

График изменения эффективности улавливания в зависимости от размера частиц показан на рисунке 2.25 при следующих данных:  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_p = 3100 \text{ кг/м}^3$ ,  $Q = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $B = 150 \text{ мм}$ ,  $L = 360 \text{ мм}$ ,  $H = 600 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $C_x = 1,8$ ,  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$

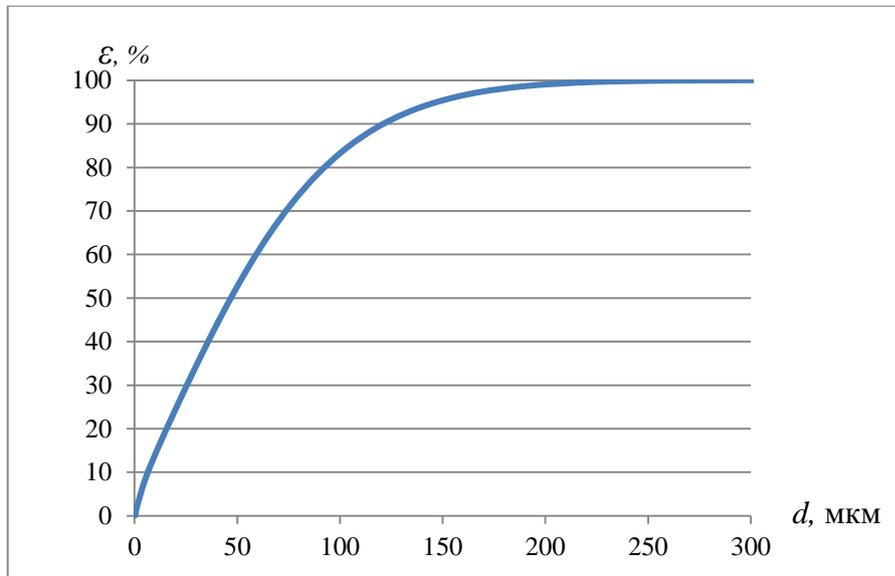


Рисунок 2.25 – Изменение эффективности улавливания в зависимости от диаметра частиц

Из данного графика видно, что эффективность улавливания возрастает при увеличении диаметра частиц. Так для частиц  $d=100$  мкм эффективность составляет  $\varepsilon \approx 85$  %, а для частиц  $d=200$  мкм эффективность равна  $\varepsilon \approx 98$  %.

## 2.8. Выводы

1. Получено решение задачи об определении скорости и давления потока воздуха в пылеосадителе в одномерной, плоской и трехмерной постановке с учетом сложной геометрической формы исследуемого объекта.

2. Разработана математическая модель движения твердых частиц в турбулентном потоке воздуха с учетом взаимодействия частиц с отражающими лопатками. Построено аналитическое решение задачи об осаждении частицы в пылеосадителе.

3. На основе совместного решения уравнений аэродинамики и движения взвешенных твердых тел в потоке воздуха предложен обобщающий подход к решению задачи о нахождении кинематических параметров движения частицы при оседании в устройствах со сложной геометрией.

4. Найдены соотношения для определения гидравлического сопротивления пылесадителя с учетом входных - выходных параметров, поворота потока воздуха, влияния отражающих лопаток, трения и межфазового взаимодействия. Показано, что наибольшее влияние на гидравлическое сопротивление имеют скорость входящего потока и размер частиц. Отмечено, что максимальные значения гидравлического сопротивления возникают при скорости входного потока  $v_0=25$  м/с. Максимальное отклонение данных полученных на экспериментальной установке от расчетных значений составляет 8 %.

5. Показано, что эффективность пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, зависящая от конструктивных и технологических параметров, при улавливании грубодисперсной цементной пыли составляет для частиц  $d=100$  мкм эффективность составляет  $\varepsilon \approx 85$  %, а для частиц  $d=200$  мкм эффективность равна  $\varepsilon \approx 98$  %

### **3. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

#### **3.1. План экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования позволяют определить рациональные конструктивно-технологические параметры пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, а также найти рациональные технологические режимы его работы для достижения максимальной эффективности, при снижении гидравлического сопротивления.

Основная цель проведения экспериментальных исследований – оценка реальной эффективности разработанных математических моделей и инженерных рекомендаций по разработке пылеосадителя инерционного типа для применения в производстве цемента.

Определенные ранее задачи предопределяют методику проведения экспериментальных исследований по созданию пылеосадителя инерционного типа, обеспечивающего повышение эффективности очистки запыленного воздуха. При этом она включает необходимость решения следующих вопросов:

- разработка и изготовление экспериментальной установки пылеосадителя инерционного типа для исследования процессов пылеочистки;
- определение конструктивных и технологических параметров, а также контролируемых параметров, на которые влияют изменяемые факторы;
- выбор плана проведения многофакторного эксперимента, установка уровней и интервалов варьирования основных факторов процесса пылеулавливания в разработанном аппарате;
- выполнение многофакторного эксперимента для определения зависимости показателей работы пылеосадителя инерционного типа от его конструктивно-технологических параметров.

### 3.2. План проведения многофакторного эксперимента

В качестве основного плана эксперимента нами выбирается центральный композиционный ротатабельный план (ЦКРП  $2^4$ ) полного факторного эксперимента (ПФЭ) [28, 87]. Основой для выбора данного плана являются его свойства, на основе которых можно получить одинаковую дисперсию значений функции отклика во всех точках, равноудаленных от центра плана эксперимента. Используя ПФЭ, можно меньшим количеством опытов и с высокой точностью получить нелинейную модель разработанного нами пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

Использование выбранного плана позволило сократить число опытов при исследовании влияния конструктивно-технологических параметров на процесс пылеулавливания до  $n$ , равного:

$$n = 2^n + 2 \cdot n + n_0 = 2^4 + 2 \cdot 4 + 7 = 31, \quad (3.1)$$

где  $n$  – число факторов,

$n_0$  – число повторений опытов в центре плана.

Матрица планирования для ПФЭ ЦКРП  $2^4$ , на основании которой проводились экспериментальные исследования, представлена в таблице 3.1.

Математическая модель, полученная по результатам обработки эксперимента, является уравнением регрессии в виде квадратичной функции:

$$\Delta p, \varepsilon = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2, \quad (3.2)$$

где  $\Delta p, \varepsilon$  – исследуемые параметры, в данном случае, соответственно, гидравлическое сопротивление пылесадителя инерционного типа, эффективность пылеулавливания, определяемые в процессе эксперимента;

$b_0$  – свободный член уравнения;

$b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коэффициенты, соответственно, при линейных параметрах, при эффектах взаимодействия и квадратичных членах;

$x_i, x_j$  – уровни варьирования факторов.

При выборе уровней варьирования факторов учитывались результаты поисковых экспериментов и реальные условия реализуемого процесса на практике.

Число факторов определялось по результатам проведения поисковых экспериментов при необходимости осуществления комплексного исследования интересующего объекта.

Таблица 3.1 – Матрица планирования ПФЭ ЦРКП  $2^4$

	№ опыта	Целевая функция $y$			
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Ядро плана	1	-1	-1	-1	-1
	2	+1	-1	-1	-1
	3	-1	+1	-1	-1
	4	+1	+1	-1	-1
	5	-1	-1	+1	-1
	6	+1	-1	+1	-1
	7	-1	+1	+1	-1
	8	+1	+1	+1	-1
	9	-1	-1	-1	+1
	10	+1	-1	-1	+1
	11	-1	+1	-1	+1
	12	+1	+1	-1	+1
	13	-1	-1	+1	+1
	14	+1	-1	+1	+1
	15	-1	+1	+1	+1
	16	+1	+1	+1	+1
Звездные точки	17	-2	0	0	0
	18	+2	0	0	0
	19	0	-2	0	0
	20	0	+2	0	0
	21	0	0	-2	0
	22	0	0	+2	0
	23	0	0	0	-2
	24	0	0	0	+2
Центр плана	25	0	0	0	0
	26	0	0	0	0
	27	0	0	0	0
	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
	31	0	0	0	0

В качестве исследуемых факторов, влияющих на процесс пылеулавливания, были выбраны: объем аспирационного воздуха, ширина камеры рабочей зоны, концентрация запыленного воздуха, а также угол наклона лопаток.

Полученные уравнения регрессии дают возможность не только предсказать значение функции отклика при заданных условиях эксперимента, но и получить информацию о форме поверхности отклика. Исследование данной поверхности необходимо для оптимального технологического режима, определяющего эффективность производства в целом. Такая задача весьма актуальна при разработке интерполяционных моделей из безразмерных комплексов, характеризующих процесс.

Для определения влияния этих факторов (3.2) на гидравлическое сопротивление пылесадителя инерционного типа и эффективность пылеулавливания использовалась экспериментальная модель пылесадителя инерционного типа.

В соответствии с принятым планом (см. таблица. 3.1) установлено пять уровней факторов:  $-1$  – нижний;  $0$  – средний;  $+1$  – верхний;  $-2, +2$  – звездные.

Все принятые уровни факторов реализуются на модели пылесадителя инерционного типа и соотносятся с реальными условиями работы пылеочистного оборудования (таблица 3.2).

С целью исключения появления систематической ошибки в результатах эксперимента из-за неодинаковых внешних условий, была проведена рандомизация опытов, т.е. опыты проводились в случайной последовательности [87].

В выбранной методике экспериментальных исследований для получения достоверности и надежности необходим расчет количества измерений (опытов). Минимальное (достаточное для данных условий) количество опытов рассчитывалось по известной методике [87] на основе поисковых экспериментов.

Таблица 3.2 – Исследуемые факторы и уровни варьирования ПФЭ ЦКРП 2<sup>4</sup>

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	$X = -2$ (звездный уровень)	$X = -1$ (нижний уровень)	$X = 0$ (средний уровень)	$X = +1$ (верхний уровень)	$X = +2$ (звездный уровень)
Объем аспирационного воздуха $V$ , м <sup>3</sup> /ч	$X_1$	100	200	300	400	500	600
Ширина камеры рабочей зоны $a$ , м	$X_2$	0,02	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4
Концентрация запыленного воздуха $\beta$ , кг/м <sup>3</sup>	$X_3$	0,05	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
Угол наклона лопаток $\alpha$ , град.	$X_4$	5	30	35	40	45	50

Необходимое количество повторных опытов при пылеулавливании составляет не менее трех. После обработки результатов экспериментов по ЦКРП – 2<sup>n</sup> были получены уравнения регрессии в кодированной форме.

Значимость каждого из коэффициентов оценивалась по критерию Стьюдента. В случае невыполнения условия значимости коэффициент регрессии считается незначимым и приравнивается к нулю [19].

Адекватность полученного уравнения регрессии экспериментальным данным проверяется с помощью критерия Фишера, значение которого представляет собой отношение дисперсии адекватности  $S_{ад}$  к дисперсии воспроизводимости опыта  $S_y$ .

На основании  $S_{ад}$  и  $S_y$  рассчитывается критерий Фишера, который должен быть меньше табличного (при уровне значимости 5 %).

После оценки значимости коэффициентов уравнений регрессий и проверки их адекватности проводился перевод безразмерных (кодированных) переменных к физическим по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (3.3)$$

где  $x_i$ ,  $X_i$  – значения фактора в физических и кодированных переменных соответственно;

$x_{i0}$  – значение фактора на базовом уровне;

$\Delta x_i$  – интервал варьирования по данному фактору.

### 3.3. Методики проведения исследований

По разработанной программе исследований были проведены лабораторные исследования процесса очистки запыленного воздуха пылеосадителем инерционного типа. В основу данных исследований легли общие измерения, которые основаны на трудах [3, 12, 13, 32, 39, 40, 44, 49, 50, 59, 64, 77, 106]. Они использовались для определения расхода запыленного воздуха, эффективности разделения и гидравлического сопротивления разработанного выше пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

При проведении экспериментальных исследований применялся грубомолотый клинкер ЗАО «Белгородский цемент».

Клинкер ЗАО «Белгородский цемент» имеет следующий минералогический состав:  $C_3S$  – 64,49 %;  $C_2S$  – 12,93 %;  $C_3A$  – 6,59 %;  $C_4AF$  – 13,49 %.; и химический состав:  $SiO_2$  – 21,48 %;  $Al_2O_3$  – 5,33 %;  $Fe_2O_3$  – 4,44 %;  $CaO$  – 66,28 %;  $MgO$  – 0,71 %;  $R_2O$  – 21,48 %;  $SO_3$  – 21,48 %; прочие – 1,09 %.

При проведении экспериментальных исследований погрешность измерения всей установки не превышала 8% при данной методике и используемых приборов.

Для определения массы проб поступающих в пылеосадитель и проб фракций готового продукта использовались электронные весы ET-30000П-Т, у которых погрешность измерений не превышала 3 %. Для определения эффективности разделения по массе готовых фракций использовались аналитические весы Ohaus PA 64.

Исходным материалом при проведении всех экспериментов по плану (таблица 3.1) являлась крупка, отсеянная от лабораторного центробежного сепаратора 3-го поколения. Гранулометрический состав исходного материала

представлен на рисунке 3.1. Результаты гранулометрического состава исходного материала получены на электронном грануляторе «Mastersizer».

System Details							
Sampler: Internal				Measured Beam Obscuration: 16.8 %			
Presentation: 4_CEM_W		[Particle R.I. = (1.6800, 0.01000); Dispersant R.I. = 1.3300]				Residual: 0.907 %	
Analysis Model: Polydisperse							
Modifications: None							
Result Statistics							
Distribution Type: Volume		Concentration = 0.0532 %Vol		Density = 3.160 g / cub. cm		Specific S.A. = 0.0867 sq. m / g	
Mean Diameters:		D (v, 0.1) = 24.60 um		D (v, 0.5) = 71.60 um		D (v, 0.9) = 150.60 um	
D [4, 3] = 80.93 um		D [3, 2] = 21.90 um		Span = 1.760E+00		Uniformity = 5.463E-01	
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under %	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under %
7.72	0.43	9.00	0.43	48.27	7.62	56.23	30.82
9.00	0.42	10.48	0.85	56.23	8.72	65.51	39.54
10.48	0.41	12.21	1.26	65.51	9.41	76.32	48.95
12.21	0.43	14.22	1.69	76.32	9.57	88.91	58.52
14.22	0.52	16.57	2.21	88.91	9.37	103.58	67.89
16.57	0.73	19.31	2.94	103.58	8.65	120.67	76.54
19.31	1.11	22.49	4.05	120.67	7.38	140.58	83.92
22.49	1.71	26.20	5.76	140.58	6.23	163.77	90.15
26.20	2.55	30.53	8.31	163.77	4.11	190.80	94.26
30.53	3.65	35.56	11.96	190.80	3.25	222.28	97.51
35.56	4.93	41.43	16.89	222.28	1.58	258.95	99.09
41.43	6.31	48.27	23.20	258.95	0.91	301.68	100.00

Рисунок 3.1 – Гранулометрический состав

При анализе погрешностей измеряемых величин в процессе эксперимента видно, что принятые в процессе методики исследований и измерений позволяют с достаточной степенью достоверности установить требуемые уровни факторов и определить соответствующую им величину параметров оптимизации и позволяет производить качественный и количественный анализ результатов исследований.

### 3.4. Стендовая установка пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами

Все стендовые установки пылесадителя инерционного типа выполняются в соответствии с требованиями [20, 21, 37, 41, 49, 51, 66, 105] и с учетом плана и программы экспериментов.

Каждая из лабораторных установок, входящих в установку пылеосадителя инерционного типа, снабжена регулируемыми приводами, которые позволяют изменять частоту вращения ротора питателя и ротора вентилятора.

На рисунке 3.2 представлена фотография экспериментальной установки, которая является базовой при проведении всех экспериментов, и поисковых работ, предусмотренных планом экспериментов.



Рисунок 3.2 – Фотография установки пылеосадителя инерционного типа: 1 –пылеосадитель инерционного типа; 2 – осадительные циклоны; 3 – зернистый фильтр; 4 – расходомерное устройство; 5 – жидкостный дифференциальный манометр; 6 – сепарационный вентилятор; 7 – установка жидкостных дифференциальных манометров

Установка работает в периодическом режиме. После каждого эксперимента пылеосадитель разбирался, очищались жалюзийные элементы при их засоренности.

Установка работает под разряжением, создаваемым центробежным вентилятором 6 в конце установки. Мощность, потребляемая электродвигателем, контролировалась вольтамперметрами М 2015 и М 2017.

В качестве генератора пыли применен центробежный воздушный сепаратор без вращения крыльчатки.

Объем аспирационного воздуха, проходящего через пылеосадитель, определялся нормализованной диафрагмой 4, по показаниям дифференциального жидкостного манометра 5.

Изменение объема аспирационного воздуха, подаваемого вентилятором в пылеосадитель инерционного типа, в процессе эксперимента осуществлялся изменением частоты вращения электродвигателя этого самого вентилятора, которая регулировалась путем изменения частоты тока питающей сети при помощи частотного преобразователя (тип LS600-4005 компании Long Shenq Electronic Co.LTD (Тайвань) мощностью 5,5 кВт).

Грубомолотый материал подается в центробежный воздушный сепаратор, где перемешивается с аспирационным воздухом. Исходный материал выходит из сепаратора по газоходу в пылеосадитель инерционного типа 1. Здесь происходит разделение находящейся в воздухе смеси на фракции. Уловленная пыль выводится из системы, а неуловленная пыль направляется по газоходу в осадительные циклоны 2. Эта фракция выпадает в нижнюю часть циклонов. Аспирационный воздух из осадительных циклонов направляется в комбинированный зернистый фильтр 3, в котором осуществляется окончательная очистка от пыли. Изменение гидравлического сопротивления при изменении конструктивных параметров пылеосадителя (ширина камеры рабочей зоны, угол наклона лопаток и т.д.) контролировалось по показаниям дифференциального жидкостного манометра 7. Эффективность пылеулавливания определялась соотношением массы уловленных частиц пыли к массе пыли в запыленном воздухе.

### 3.5. Модель пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами

На модели пылеосадителя инерционного типа производились исследования влияния конструктивных параметров пылеосадителя на эффективность пылеочистки (таблица 3.2).

Пылеосадитель инерционного типа (рисунок 3.3) состоит из корпуса 1 прямоугольного сечения. В верхней части корпуса расположены патрубок подвода 2 исходного материала (грубомолотой цементной пыли) и патрубок вывода 3 тонкого материала. С противоположной стороны корпуса в нижней его части расположен патрубок вывода 4 грубой фракции. В средней части корпуса относительно его вертикальной оси установлена система регулируемых жалюзийных элементов 5. Жалюзийные элементы закреплены на осях, которые установлены на боковых стенках корпуса. Элементы кинематически соединены между собой тягой для одновременного вращения вокруг своих осей и горизонтального перемещения с помощью винтового механизма, который расположен как в верхней части пылеосадителя, так и в нижней. Для этого в корпусе выполнены горизонтальные проточки. Жалюзийные элементы поворачиваются относительно своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и перемещаются поперек корпуса от 0 мм до  $a$ .

Вращение обеспечивается тем, что на одной из осей установлен ручной привод и оси между собой связаны кинематически с возможностью их одновременного вращения. Также предусмотрено одновременное перемещение жалюзийных элементов поперек корпуса от 0 мм до  $a$  за счет соединения осей системой тяг с винтовыми механизмами расположенными вверху и внизу пылеосадителя. Варьируя величинами параметров  $\alpha$  и  $a$  можно в широких пределах изменять дисперсность выходящего из пылеосадителя продукта. Для управления процессом разделения дисперсных частиц в потоке воздуха жалюзийные элементы вращаются вокруг своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

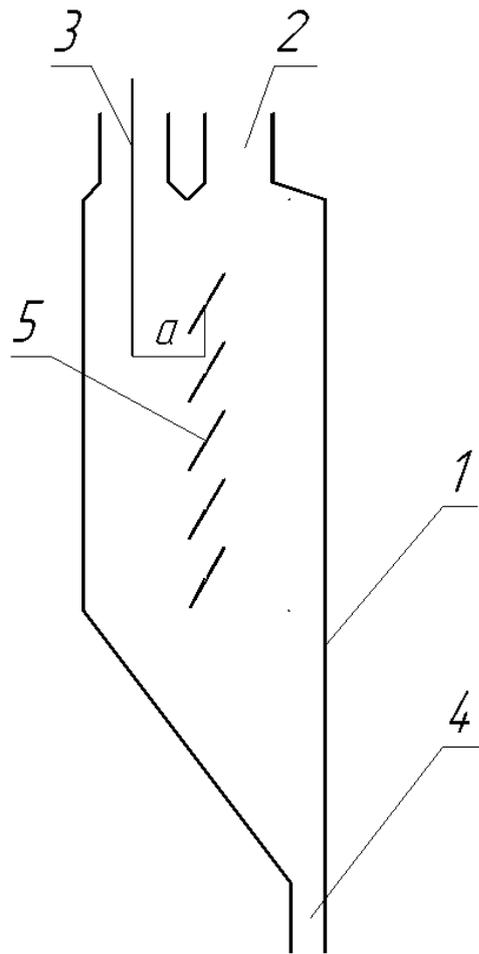


Рисунок 3.3 – Модель пылесадителя инерционного типа: 1 – корпус пылесадителя; 2 – патрубок подвода; 3 – патрубок вывода тонкого материала; 4 – патрубок вывода грубой фракции; 5 – жалюзийные элементы

На рисунке 3.4 представлена фотография пылесадителя инерционного типа, на котором были проведены все экспериментальные исследования, согласно плану эксперимента.



Рисунок 3.4 – Фотография пылеосадителя инерционного типа

Пылеосадитель инерционного типа работает следующим образом.

Запыленный воздух поступает в корпус *1* пылеосадителя инерционного типа по патрубку подвода *2* (конфузор) и затем поступает в зону установки системы жалюзийных элементов *5*. За счет разряжения, создаваемого внешним вентилятором, воздушный поток с мелкими частицами пыли поворачивает на  $180^{\circ}$  проходя через жалюзийные элементы и выходит через патрубок вывода *3* (диффузор) из пылеосадителя. А крупные частицы, находящиеся в воздушном потоке, за счет сил инерции, пытаются сохранить траекторию движения по прямой линии выпадают в патрубок вывода *4* и выносятся из пылеосадителя.

На рисунке 3.5 представлена фотография входного патрубка (конфузор) и выходного патрубка (диффузор).

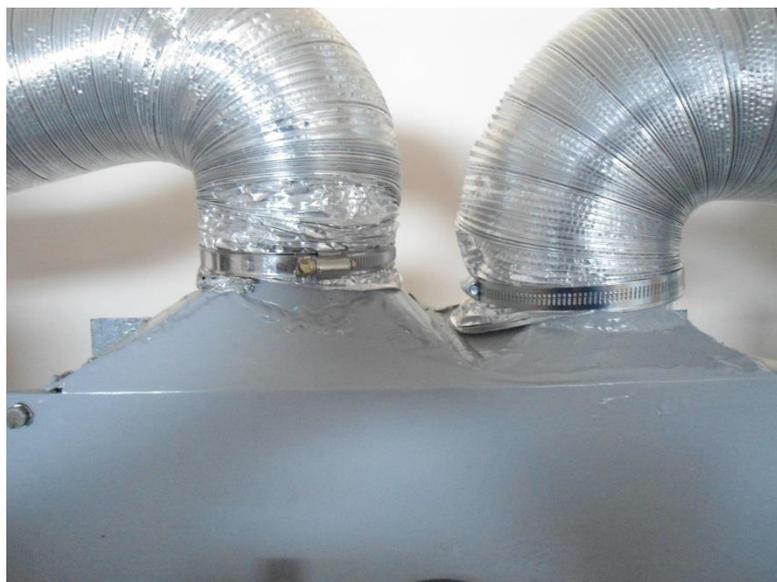


Рисунок 3.5 – Фотография входного патрубка (конфузор) и выходного патрубка (диффузор)

За счет того, что жалюзийные элементы способны вращаться вокруг своих осей и перемещаться по горизонтали, в пылесадителе инерционного типа создаются условия для управления процессом отделения из запыленного потока частиц необходимого размера. Также можно подобрать такие режимы его работы при котором в зависимости от объемов перекачиваемого запыленного воздуха и типа пыли можно снизить гидравлическое сопротивление аппарата до минимума.

На рисунке 3.6 представлена фотография системы жалюзийных элементов в пылесадителе инерционного типа.



Рисунок 3.6 – Фотография системы жалюзийных элементов в пылесадителе инерционного типа

Таким образом, конструкция экспериментальной установки и режимы ее работы соответствуют всем требованиям условий многофакторного эксперимента по исследованию пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

### 3.6. Выводы

1. В соответствии с поставленными задачами определена методика проведения экспериментальных исследований пылеочистки в пылесадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами.

2. В качестве основного плана эксперимента выбран центральный композиционный ротатабельный план (ЦКРП)  $2^4$  полного факторного эксперимента.

3. Выбранные методики исследований и измерений выходных параметров эксперимента обеспечивают достоверность полученных результатов при уровне значимости  $q = 0,05$ .

4. Для изучения процесса пылеочистки в исследуемом аппарате, определения основных параметров исследуемого оборудования разработана лабораторная установка пылесадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЫЛЕОСАДИТЕЛЯ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

При проведении эксперимента на экспериментальной установке пылеосадителя инерционного типа, были получены результаты, которые обрабатывались с применением методов математического планирования.

По результатам проведенных экспериментов и их статистической обработки с использованием стандартных программ нами получены уравнения регрессии в виде  $\varepsilon (X_1; X_2; X_3; X_4)$  и  $\Delta p (X_1; X_2; X_3; X_4)$ .

### 4.1. Эффективность пылеулавливания в пылеосадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами

Уравнение регрессии, выражающее зависимость эффективности  $\varepsilon$  пылеосадителя инерционного типа от объема аспирационного воздуха  $V(X_1)$  пылеосадителя инерционного типа, ширины  $a(X_2)$  камеры рабочей зоны, концентрации  $\beta(X_3)$  запыленного воздуха и угла  $\alpha (X_4)$  наклона лопаток пылеосадителя инерционного типа в кодированном виде имеет вид:

$$\varepsilon = 76,2 + 14,3 X_1 - 8,9 X_1^2 - 2,9 X_2 + 1,9 X_2^2 - 5,8 X_3 + 1,4 X_3^2 + 9,1 X_4 - 2,4 X_4^2 + 1,3 X_1 X_2 + 2,4 X_1 X_3 + 1,2 X_3 X_4. \quad (4.1)$$

Детальный анализ изменения эффективности пылеулавливания пылеосадителя инерционного типа можно сделать при рассмотрении графиков зависимости:

$$\varepsilon = f(X_1, X_2, X_3, X_4). \quad (4.2)$$

В натуральном виде график зависимости выглядят следующим образом:

$$\varepsilon = f(V, a, \beta, \alpha). \quad (4.3)$$

На рисунке 4.1 представлена зависимость влияния объема  $V$  аспирационного воздуха на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, постоянной ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$ .

На рисунке 4.1 видно, что все представленные зависимости носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

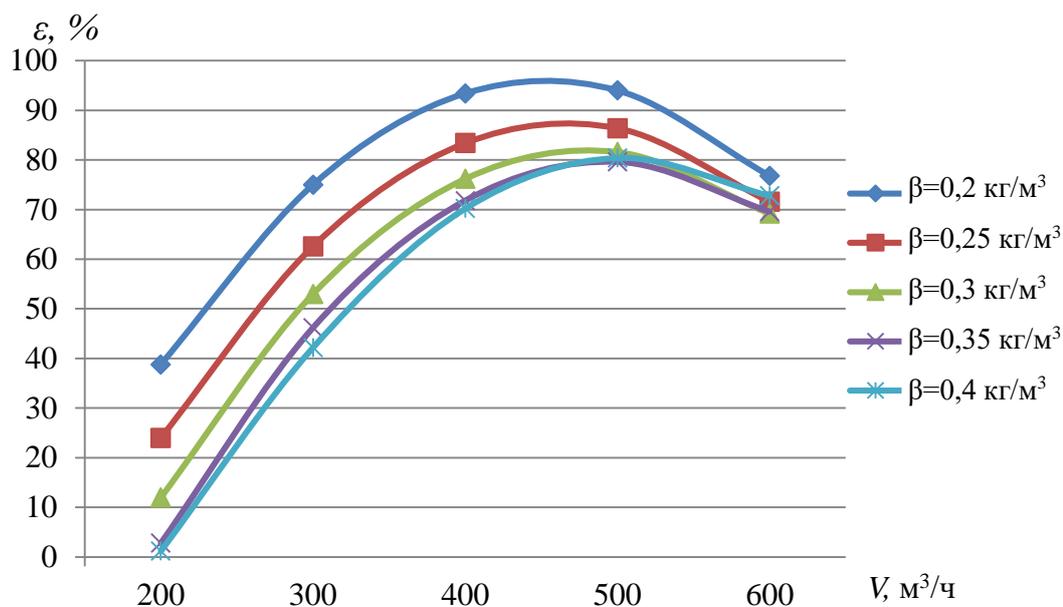


Рисунок 4.1 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от объема  $V$  аспирационного воздуха при различных значениях концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, постоянной ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$

Например, при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200$  м³/ч (рисунок 4.1, линия  $\beta = 0,2$  кг/м³) параметр  $\varepsilon$  составляет 38,8 %. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300$  м³/ч и  $V = 400$  м³/ч приводит к увеличению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 75 и 93,4 %. Максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 450$  м³/ч и составляет 95,9 %. При увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до значения, равного 600 м³/ч, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 76,8 %. Изменение объема  $V$  аспирационного воздуха

позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 38,8–95,9 %.

Дальнейшее увеличение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорят кривые, характеризующие эффективность пылеулавливания. Например, при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  (см. рисунок 4.1, линия  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 24 %. При дальнейшем увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  наблюдается увеличение значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$ , которое составляет, соответственно, 62,6 и 83,4 %. Максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха, равного  $V = 465 \text{ м}^3/\text{ч}$ , и составляет 87,3 %. При увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до значения  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  эффективность пылеулавливания уменьшается и составляет 71,6 %. Изменение объема  $V$  аспирационного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 24–87,3 %.

Анализируя зависимость при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.1) приходим к выводу, что при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  параметр  $\varepsilon$  составляет 12 %. С увеличением объема  $V$  аспирационного воздуха до значений 300  $\text{м}^3/\text{ч}$  и 400  $\text{м}^3/\text{ч}$  эффективность пылеулавливания возрастает и составляет 53 и 76,2 %. Максимальное значение эффективности пылеулавливания достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 480 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 81,9 %. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значения  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к уменьшению значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет 69,2 %. Изменение объема  $V$  аспирационного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 12–81,9 %.

Анализируя уравнение регрессии (4.1) концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.1) получаем, что при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  параметр  $\varepsilon$  составляет 2,8 %. С увеличением объема  $V$  аспирационного воздуха до значений, равных 300  $\text{м}^3/\text{ч}$  и 400  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

приводит к увеличению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 46,2 и 71,8 %. Максимальное значение эффективности пылеулавливания достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 490 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 79,6 %. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значения  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к уменьшению значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет 69,6 %. Изменение объема  $V$  аспирационного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 2,8–79,6 %.

Минимальные значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  пылесоса инерционного типа наблюдаются при максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.1). При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха, равного  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , параметр  $\varepsilon$  составляет 1,2 %. При увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $400 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к увеличению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 42,2 и 70,2 %. Максимальное значение эффективности пылеулавливания достигается при объеме аспирационного воздуха  $V = 510 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 80,4 %. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значения  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к уменьшению значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет 72,8 %. Изменение объема  $V$  аспирационного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 1,2–80,4 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.1, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при объеме аспирационного воздуха  $V = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$ , концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет  $\varepsilon = 95,9 \%$ .

На рисунке 4.2 представлена зависимость влияния ширины камеры рабочей зоны  $a$  на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$ .

На рисунке 4.2 видно, что все представленные зависимости имеют экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

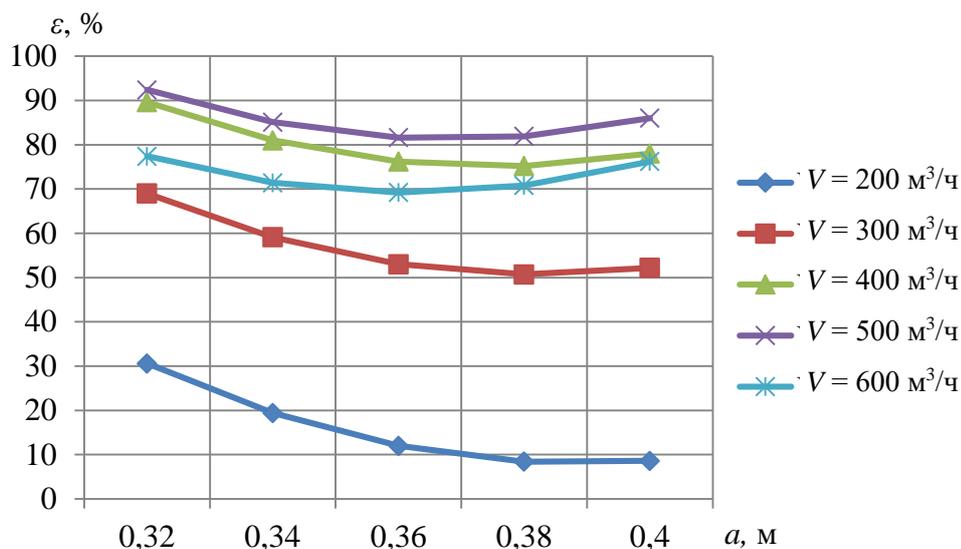


Рисунок 4.2 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от ширины  $a$  камеры рабочей зоны при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3$  кг/м³ и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$

Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м (рисунок 4.2, линия  $V = 200$  м³/ч) параметр  $\varepsilon$  составляет 30,6 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 19,4 и 12 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 8,4 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 8,6 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 30,6–8,4 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорят кривые, характеризующие эффективность пылеулавливания. Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м (рисунок 4.2, линия  $V = 300$  м³/ч) параметр  $\varepsilon$  составляет 69 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений

$a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 59,1 и 53 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 50,7 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 52,2 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 69-50,7 %.

Анализируя зависимость при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400$  м<sup>3</sup>/ч (рисунок 4.2) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\varepsilon$  составляет 89,6 %. С увеличением ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 81 и 76,2 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 75,2 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 78 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 89,6-75,2 %.

Максимальные значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  пылесоса инерционного типа наблюдаются при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 500$  м<sup>3</sup>/ч (рисунок 4.2). При минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\varepsilon$  составляет 92,4 %. При дальнейшем увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения  $a = 0,34$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет 85,1 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и составляет 81,6 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,38$  м и  $a = 0,4$  м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит, соответственно, 81,9 и 86 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 92,4-81,6 %.

Анализируя уравнение регрессии (4.1) при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.2) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  параметр  $\varepsilon$  составляет 77,4 %. При дальнейшем увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения  $a = 0,34 \text{ м}$  приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет 71,4 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$  и составляет 69,2 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,38 \text{ м}$  и  $a = 0,4 \text{ м}$ , эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит, соответственно, 70,8 и 76,2 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 77,4-69,2 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.2, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$ , объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет  $\varepsilon = 92,4 \%$ .

На рисунке 4.3 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$ .

На рисунке 4.3 видно, что все представленные зависимости (кроме линии  $\alpha = 50^\circ$ ) имеют убывающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , уменьшается эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$ . Остальная зависимость, линия  $\alpha = 50^\circ$ , носит экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

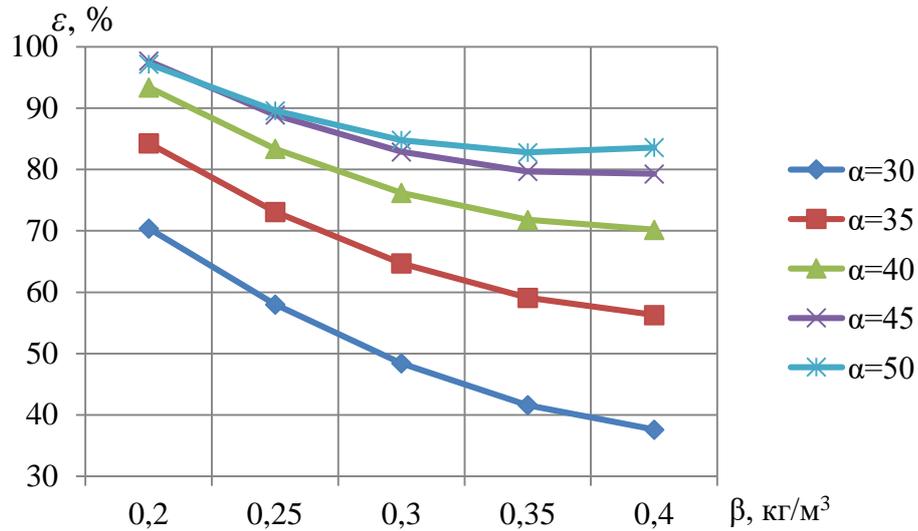


Рисунок 4.3 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.3, линия  $\alpha = 30^\circ$ ), параметр  $\varepsilon$  составляет  $70,4 \%$ . При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет  $58 \%$ . С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,3$  и  $0,35 \text{ кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается и составляет, соответственно,  $48,4$  и  $41,6 \%$ . При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет  $37,6 \%$ . Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на  $32,8 \%$ .

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (линия  $\alpha = 35^\circ$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.2, линия  $\alpha = 35^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет  $84,3 \%$ . При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет  $73,1 \%$ . С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,3$  и  $0,35 \text{ кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается и

составляет, соответственно, 64,7 и 59,1 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 56,3 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 28 %.

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $\alpha = 40^\circ$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.3, линия  $\alpha = 40^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 93,4 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  и неизменных угле наклона лопаток и объеме аспирационного воздуха эффективность пылеулавливания уменьшается, и составляет 83,4 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 76,2 и 71,8 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг/м}^3$ , величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 70,2 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 23,2 %.

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток также увеличивает значение параметра  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания при  $\alpha = 45^\circ$ . Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.3, линия  $\alpha = 45^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 97,7 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  эффективность пылеулавливания уменьшается и составляет 88,9 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 82,9 и 79,7 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг/м}^3$ , величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 79,3 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до

максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 18,4 %.

При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равном  $0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.3, линия  $\alpha = 50^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 97,2 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,25 \text{ кг/м}^3$  и  $0,3 \text{ кг/м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет, соответственно, 89,6 и 84,8 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,35 \text{ кг/м}^3$  и составляет 82,8 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 83,6 %. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 82,8-97,2 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.3, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при угле наклона лопаток  $\alpha = 45^\circ$ , концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  и составляет 97,7 %.

На рисунке 4.4 представлена зависимость влияния угла  $\alpha$  наклона лопаток на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На рисунке 4.4 видно, что все представленные зависимости имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением угла наклона лопаток, определяемой параметром  $\alpha$ , возрастает эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$ .

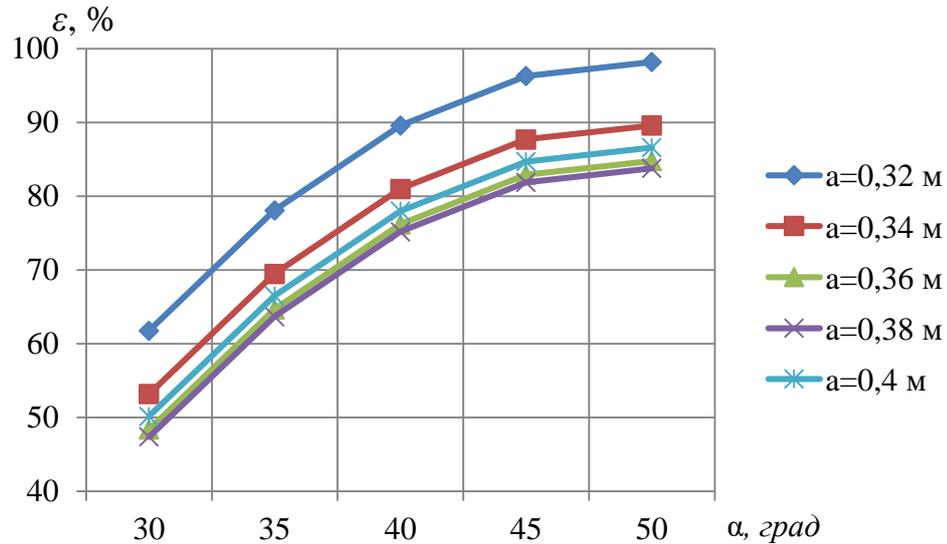


Рисунок 4.4 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от угла  $\alpha$  наклона лопаток при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

При минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны параметр  $\varepsilon$  имеет максимальные значения, о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (рисунок 4.4, линия  $a = 0,32 \text{ м}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 61,8 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 78,1 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 89,6 и 96,3 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 98,2 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (рисунок 4.4, линия  $a = 0,34 \text{ м}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 53,2 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 69,5 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до

значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 81 и 87,7 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 89,6 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $a = 0,36$  м). При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4. 4, линия  $a = 0,36$  м) параметр  $\varepsilon$  составляет 48,4 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  и неизменной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха и объема аспирационного воздуха эффективность пылеулавливания увеличивается, и составляет 64,7 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 76,2 и 82,9 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 84,8 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны также уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (рисунок 4.4, линия  $a = 0,38$  м). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 47,4 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 63,7 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 75,2 и 81,9 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 83,8 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток, равном  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4.4, линия  $a = 0,4$  м) параметр  $\varepsilon$  составляет 50,2 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 66,5 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 78 и 84,7 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 86,6 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.4, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при угле наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$ , ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м и составляет 98,2 %.

На рисунке 4.5 представлена зависимость влияния угла  $\alpha$  наклона лопаток на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3$  кг/м<sup>3</sup> и ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м.

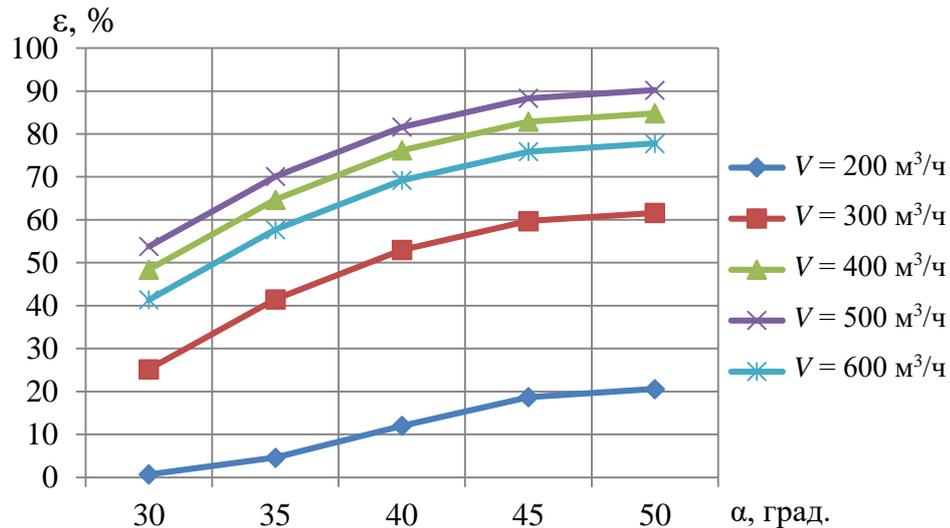


Рисунок 4.5 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от угла  $\alpha$  наклона лопаток при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3$  кг/м<sup>3</sup> и ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м

На рисунке 4.5 видно, что все представленные зависимости имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением угла наклона лопаток, определяемой параметром  $\alpha$ , возрастает эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$ .

При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха параметр  $\varepsilon$  имеет минимальные значения, о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (рисунок 4.5, линия  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 0,7 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 4,6 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 12 и 18,7 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 20,6 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 18 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (рисунок 4.5, линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 25,2 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 41,5 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 53 и 59,7 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 61,6 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4. 5, линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 48,4 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  и неизменной

концентрации  $\beta$  запыленного воздуха и ширины  $a$  камеры рабочей зоны эффективность пылеулавливания увеличивается, и составляет 64,7 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 76,2 и 82,9 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 84,8 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха также увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (рисунок 4.5, линия  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\varepsilon$  составляет 53,8 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 70,1 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 81,6 и 88,3 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 90,2 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (рисунок 4.5, линия  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток, равном  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4.5, линия  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 41,4 %. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  эффективность пылеулавливания составляет 57,7 %. С дальнейшим увеличением угла  $\alpha$  наклона лопаток до значений  $40^\circ$  и  $45^\circ$  параметр  $\varepsilon$  увеличивается и составляет, соответственно, 69,2 и 75,9 %. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 77,8 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличится на 36,4 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.5, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при угле наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$ , объеме аспирационного воздуха  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 90,2 %.

На рисунке 4.6 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На рисунке 4.6 видно, что все представленные зависимости имеют убывающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , уменьшается эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$ .

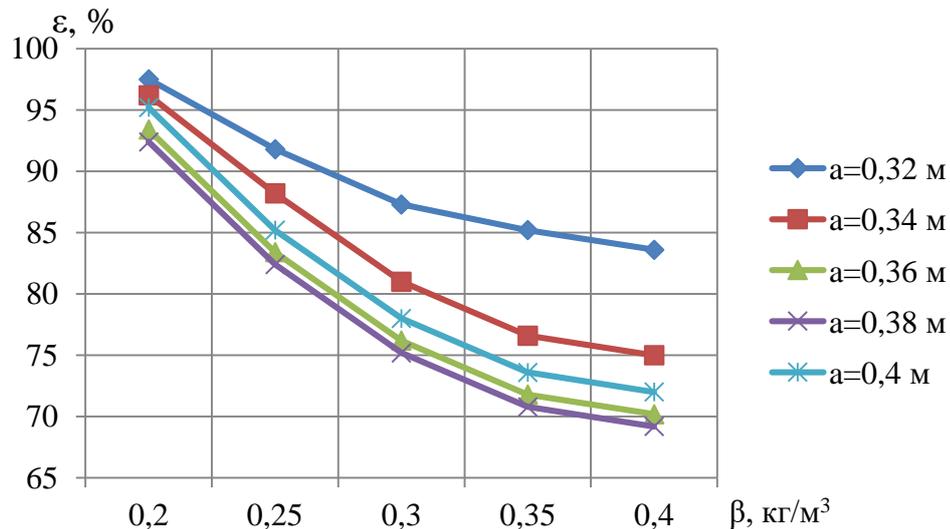


Рисунок 4.6 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и объеме аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.6, линия  $a = 0,32 \text{ м}$ ), параметр  $\varepsilon$  составляет 97,5 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет 91,8 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,3$  и  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается и составляет, соответственно, 87,3 и 85,2 %. При максимальной

концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 83,6 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 13,9 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания (линия  $a = 0,34 \text{ м}$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.6, линия  $a = 0,34 \text{ м}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 96,2 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет 88,2 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается и составляет, соответственно, 81 и 76,6 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 75 %. Значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 21,2 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны уменьшает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $a = 0,36 \text{ м}$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.6, линия  $a = 0,36 \text{ м}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 93,4 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  и неизменных угле наклона лопаток и объеме аспирационного воздуха эффективность пылеулавливания уменьшается, и составляет 83,4 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 76,2 и 71,8 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг/м}^3$ , величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 70,2 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 21,2 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны также уменьшает значение параметра  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания при  $a = 0,38$  м. Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.6, линия  $a = 0,38$  м) параметр  $\varepsilon$  составляет 92,4 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> эффективность пылеулавливания уменьшается и составляет 82,4 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 75,2 и 70,8 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 69,2 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 23,2 %.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $a = 0,4$  м). Так при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равном 0,2 кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.6, линия  $a = 0,4$  м) параметр  $\varepsilon$  составляет 95,2 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> эффективность пылеулавливания падает и составляет 85,2 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 78 и 73,6 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 72 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 23,2 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.6, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м, концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> и составляет 97,5 %.

На рисунке 4.7 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м.

На рисунке 4.7 видно, что все представленные зависимости (кроме линий  $V = 500$  м<sup>3</sup>/ч и  $V = 600$  м<sup>3</sup>/ч) имеют убывающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , уменьшается эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$ . Остальные зависимости, линии  $V = 500$  м<sup>3</sup>/ч и  $V = 600$  м<sup>3</sup>/ч, носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

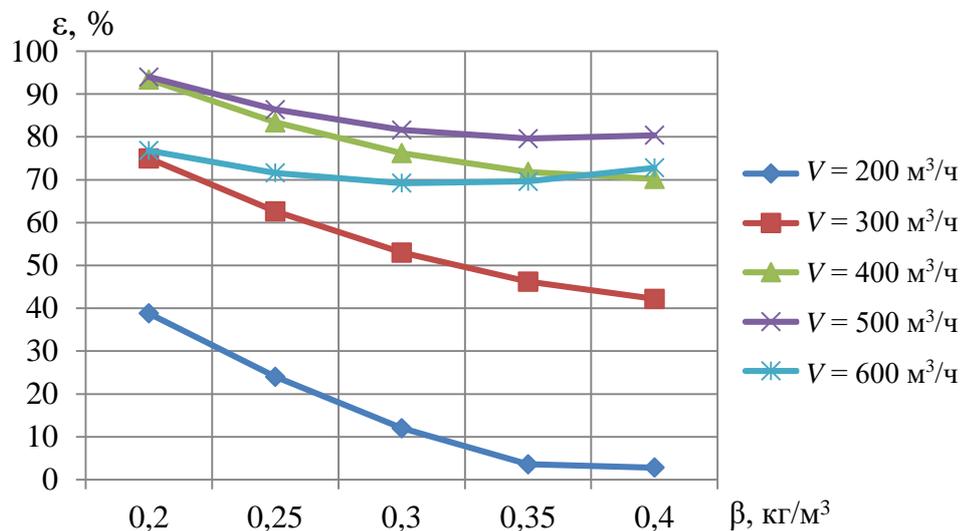


Рисунок 4.7 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.7, линия  $V = 200$  м<sup>3</sup>/ч) параметр  $\varepsilon$  составляет 38,8 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> эффективность пылеулавливания уменьшается и составляет 24 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 12 и 3,6 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина

эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 2,8 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 36 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равном  $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.7, линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 75 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  эффективность пылеулавливания падает и составляет 62,6 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 53 и 46,2 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$ , величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 42,2 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 32,8 %.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорит кривая, характеризующая эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  (линия  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.7, линия  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 93,4 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  и неизменных угле наклона лопаток и ширины камеры рабочей зоны эффективность пылеулавливания уменьшается, и составляет 83,4 %. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  параметр  $\varepsilon$  уменьшается также и составляет, соответственно, 76,2 и 71,8 %. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$ , величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 70,2 %. Значение эффективности пылеулавливания от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха уменьшается на 21,2 %.

Анализируя зависимость при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  приходим к выводу, что при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.7, линия  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), параметр  $\varepsilon$  составляет 94 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,25$  и  $0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет, соответственно, 86,4 и 81,6 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет 79,6 %. При дальнейшем увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значения  $0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет 80,4 %. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 79,6-94 %.

При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.7, линия  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), параметр  $\varepsilon$  составляет 76,8 %. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значения  $0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  эффективность пылеулавливания составляет 71,6 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет 69,2 %. При дальнейшем увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,35$  и  $0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  величина эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  составляет, соответственно, 69,6 и 72,8 %. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 69,2–76,8 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.7, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет 94 %.

На рисунке 4.8 представлена зависимость влияния ширины  $a$  камеры рабочей зоны на эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

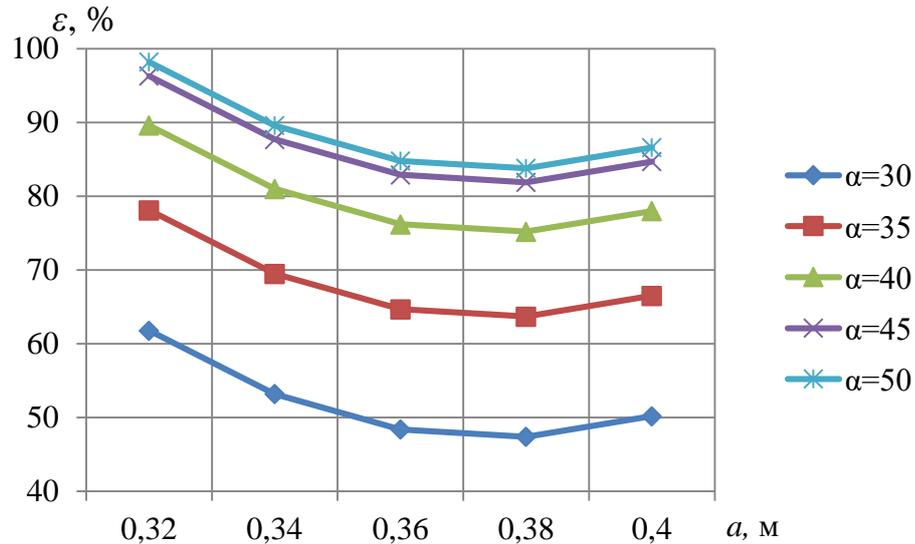


Рисунок 4.8 – Зависимость эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  от ширины  $a$  камеры рабочей зоны при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

На рисунке 4.8 видно, что все представленные зависимости носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  (рисунок 4.8, линия  $\alpha = 30^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 61,8 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34 \text{ м}$  и  $a = 0,36 \text{ м}$  приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 53,2 и 48,4 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38 \text{ м}$  и составляет 47,4 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 50,2 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 47,4-61,8 %.

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток увеличивает параметр  $\varepsilon$ , о чем говорят кривые, характеризующие эффективность пылеулавливания. Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  (рисунок 4.8, линия  $\alpha = 35^\circ$ ) параметр  $\varepsilon$  составляет 78,1 %. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34 \text{ м}$  и  $a = 0,36 \text{ м}$

приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 69,5 и 64,7 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 63,7 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 66,5 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 63,7-78,1 %.

Анализируя зависимость при угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  (рисунок 4.8) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\varepsilon$  составляет 89,6 %. С увеличением ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 81 и 76,2 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 75,2 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 78 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 75,2-89,6 %.

Анализируя уравнение регрессии (4.1) при угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 45^\circ$  (рисунок 4.8) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\varepsilon$  составляет 96,3 %. С увеличением ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 87,7 и 82,9 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 81,9 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 84,7 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 81,9-96,3 %.

Максимальные значения эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  пылеосадителя инерционного типа наблюдаются при угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  (рисунок 4.8). При минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\varepsilon$  составляет 98,2 %. С увеличением ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к уменьшению значений эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  и составляет, соответственно, 89,6 и 84,8 %. Минимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м и составляет 83,8 %. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, эффективность пылеулавливания  $\varepsilon$  составит 86,6 %. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение эффективности пылеулавливания в пределах 83,8-98,2 %.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.8, можно сделать вывод, что максимальное значение эффективности пылеулавливания  $\varepsilon$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м, угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  и составляет  $\varepsilon = 98,2$  %.

#### **4.2. Гидравлическое сопротивление пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами**

Уравнение регрессии, выражающее зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами от объема аспирационного воздуха  $V(X_1)$ , ширины  $a(X_2)$  камеры рабочей зоны, концентрации  $\beta(X_3)$  запыленного воздуха и угла  $\alpha$  ( $X_4$ ) наклона лопаток пылеосадителя инерционного типа в кодированном виде имеет вид:

$$\Delta p = 409,2 + 92,1 X_1 + 23 X_1^2 + 24,3 X_2 + 8,3 X_2^2 + 73,4 X_3 + 15,4 X_3^2 + 0,5 X_4 - 0,5 X_4^2 - 12,1 X_1 X_2 + 14,3 X_1 X_3 - 19,5 X_2 X_3. \quad (4.4)$$

Детальный анализ изменения гидравлического сопротивления пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами можно сделать при рассмотрении графиков зависимости:

$$\Delta p = f(X_1, X_2, X_3, X_4). \quad (4.5)$$

В натуральном виде график зависимости выглядит следующим образом:

$$\Delta p = f(V, a, \beta, \alpha). \quad (4.6)$$

На рисунке 4.9 представлена зависимость влияния объема  $V$  аспирационного воздуха на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, постоянной ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$ .

На рисунке 4.9 видно, что все представленные зависимости (кроме линии  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup>) имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением объема аспирационного воздуха, определяемого параметром  $V$ , возрастает гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ . Остальные зависимости, линия  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup>, носит экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

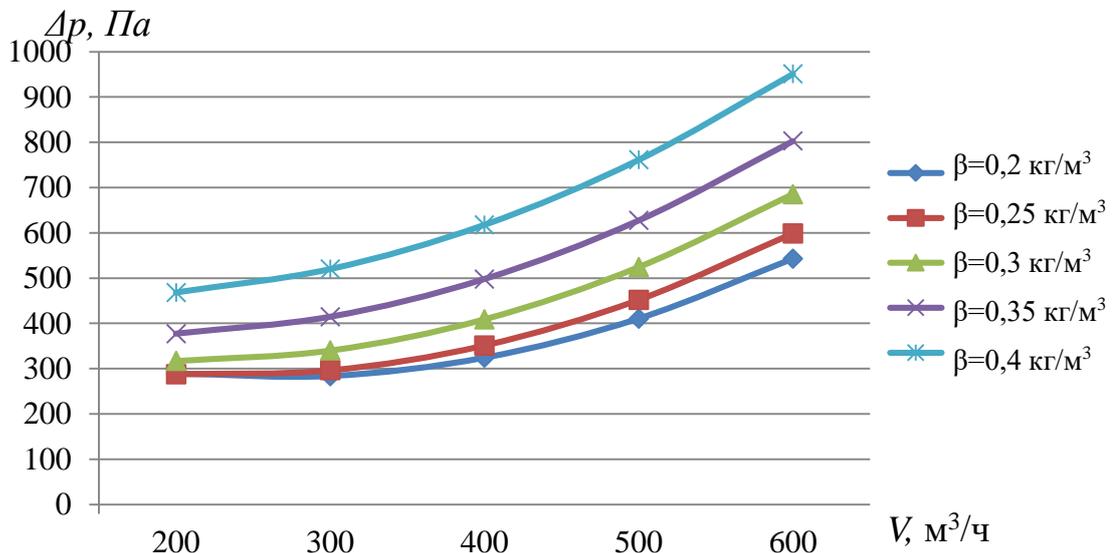


Рисунок 4.9 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от объема  $V$  аспирационного воздуха при различных значениях концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, постоянной ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$

При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.9, линия  $\beta = 0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 289 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 283,5 Па. С дальнейшим ростом объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $400 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 324 и 410,5 Па. При максимальном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 543 Па. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 283,5-410,5 Па.

При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.9, линия  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 287,6 Па. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 296,4 и 351,2 Па. При дальнейшем увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  возрастает и составляет 452 Па. При максимальном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 598,8 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения объема  $V$  аспирационного воздуха увеличится на 311,2 Па.

Анализируя зависимость при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.9) приходим к выводу, что при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  параметр  $\Delta p$  составляет 317 Па. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 340,1 и 409,1 Па. При дальнейшем увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  возрастает и составляет 524,3 Па. При максимальном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , гидравлическое

сопротивление  $\Delta p$  составит 685,4 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения объема  $V$  аспирационного воздуха увеличится на 368,4 Па.

Анализируя уравнение регрессии (4.4) при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,35 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.9) получаем, что при минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  параметр  $\Delta p$  составляет 377,2 Па. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 414,6 и 498 Па. При дальнейшем увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  возрастает и составляет 627,4 Па. При максимальном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 802,8 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения объема  $V$  аспирационного воздуха увеличится на 425,6 Па.

Максимальные значения гидравлического сопротивления  $\Delta p$  пылесоса инерционного типа наблюдаются при максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $0,4 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.9). При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха, равного  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , параметр  $\Delta p$  составляет 468,2 Па. Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха до значений  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 519,9 и 617,6 Па. При дальнейшем увеличении объема  $V$  аспирационного воздуха до  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  возрастает и составляет 761,3 Па. При максимальном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 951 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения объема  $V$  аспирационного воздуха увеличится на 482,8 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.9, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при

объеме аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет  $\Delta p = 951 \text{ Па}$ .

На рисунке 4.10 представлена зависимость влияния ширины камеры рабочей зоны  $a$  на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$ .

На рисунке 4.10 видно, что все представленные зависимости (кроме линий  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) имеют экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов. Остальные зависимости, линии  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , носят возрастающий характер, т.е. с увеличением ширины камеры рабочей зоны, определяемой параметром  $a$ , возрастает гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ .

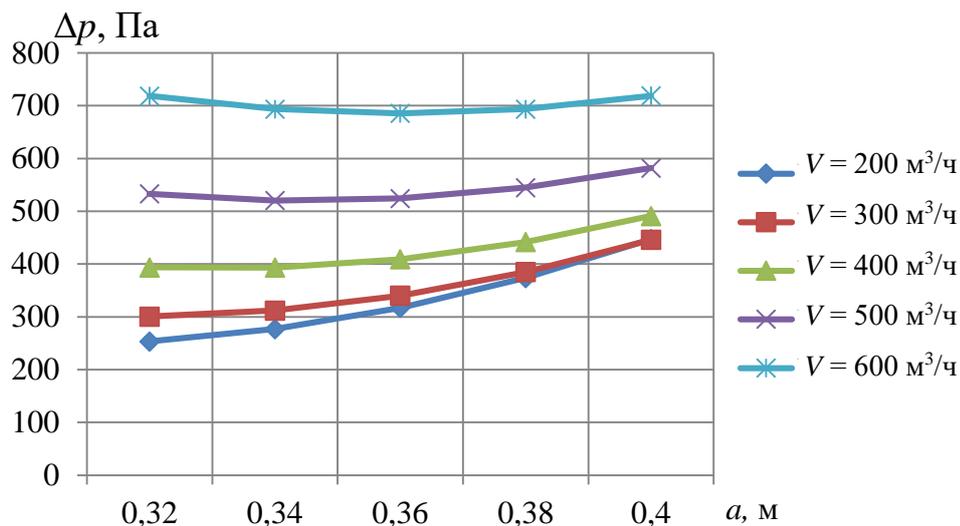


Рисунок 4.10 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от ширины  $a$  камеры рабочей зоны при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$  и угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$

Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  (рисунок 4.10, линия  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет  $253,2 \text{ Па}$ . Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34 \text{ м}$  и  $a = 0,36 \text{ м}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно,  $276,8$  и  $317 \text{ Па}$ . Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до  $a = 0,38 \text{ м}$  приводит к увеличению гидравлического

сопротивления  $\Delta p$  и составляет 373,8 Па. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 447,2 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения ширины  $a$  камеры рабочей зоны увеличится на 194 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорят кривые, характеризующие гидравлическое сопротивление. Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м (рисунок 4.10, линия  $V = 300$  м<sup>3</sup>/ч) параметр  $\Delta p$  составляет 300,5 Па. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,34$  м и  $a = 0,36$  м приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 312 и 340,1 Па. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до  $a = 0,38$  м приводит к увеличению гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет 384,8 Па. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 446,1 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения ширины  $a$  камеры рабочей зоны увеличится на 145,6 Па.

Анализируя зависимость при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400$  м<sup>3</sup>/ч (рисунок 4.10) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м параметр  $\Delta p$  составляет 393,8 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,34$  м и составляет 393,2 Па. С увеличением ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,36$  м и  $a = 0,38$  м приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 409,2 Па и 441,8 Па. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 491 Па. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 393,2-491 Па.

Анализируя уравнение регрессии (4.4) при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.10) приходим к выводу, что при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  параметр  $\Delta p$  составляет 533,1 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,34 \text{ м}$  и составляет 520,4 Па. При дальнейшем увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения  $a = 0,36 \text{ м}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет 524,3 Па. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,38 \text{ м}$  и  $a = 0,4 \text{ м}$ , приводит к увеличению гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составит, соответственно, 544,8 и 581,9 Па. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 520,4–581,9 Па.

Максимальные значения гидравлического сопротивления  $\Delta p$  пылеосадителя инерционного типа наблюдаются при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.10). При минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  параметр  $\Delta p$  составляет 718,4 Па. При дальнейшем увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения  $a = 0,34 \text{ м}$  приводит к уменьшению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет 693,6 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$  и составляет 685,4 Па. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,38 \text{ м}$  и  $a = 0,4 \text{ м}$ , приводит к увеличению гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составит, соответственно, 693,8 и 718,8 Па. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 685,4–718,8 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.10, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,4 \text{ м}$ , объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет  $\Delta p = 718,8 \text{ Па}$ .

На рисунке 4.11 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$ .

На рисунке 4.11 видно, что все представленные зависимости имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , увеличивается гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ .

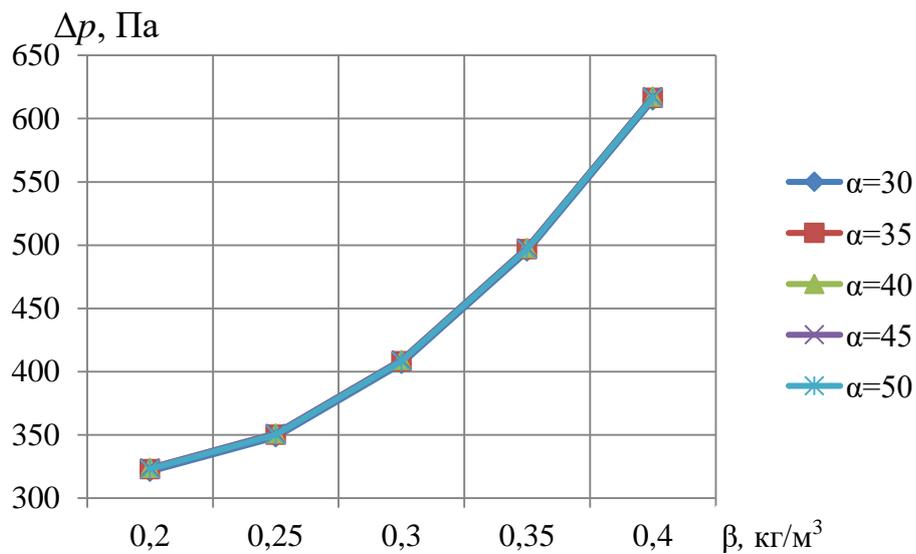


Рисунок 4.11 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянном объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.11, линия  $\alpha = 30^\circ$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 321 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  и неизменных угле наклона лопаток и объеме аспирационного воздуха гидравлическое сопротивление увеличивается, и составляет 348,2 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 406,2 и 495 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг/м}^3$ , величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 614,6 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до

максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 293,6 Па.

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток существенно не изменяет параметр  $\Delta p$ , о чем говорят кривые, характеризующие гидравлическое сопротивление (рисунок 4.11).

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.11, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$ , концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  и составляет 617,6 Па.

На рисунке 4.12 представлена зависимость влияния угла  $\alpha$  наклона лопаток на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

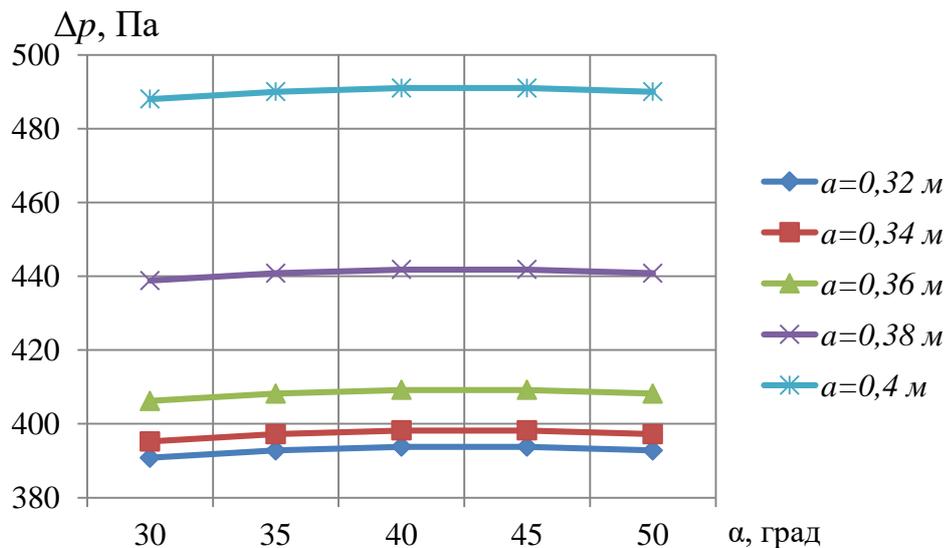


Рисунок 4.12 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от угла  $\alpha$  наклона лопаток при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

На рисунке 4.12 видно, что все представленные зависимости носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

При минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны параметр  $\Delta p$  имеет минимальные значения, о чем говорит кривая, характеризующая

гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  (рисунок 4.12, линия  $a = 0,32$  м). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 390,8 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 392,8 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 393,8 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 392,8 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 390,8–393,8 Па.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление (рисунок 4.12, линия  $a = 0,34$  м). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 395,2 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 397,2 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 398,2 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 397,2 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 395,2–398,2 Па.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  (линия  $a = 0,36$  м). При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4. 12, линия  $a = 0,36$  м) параметр  $\Delta p$  составляет 406,2 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 408,2 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 409,2 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 408,2 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток

позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 406,2-409,2 Па.

Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны также увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление (рисунок 4.12, линия  $a = 0,38$  м). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 438,8 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 440,8 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 441,8 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 440,8 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 438,8-441,8 Па.

При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток, равном  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4.12, линия  $a = 0,4$  м) параметр  $\Delta p$  составляет 488 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 490 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 491 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 490 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 488-491 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.12, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при угле наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$ , ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м и составляет 491 Па.

На рисунке 4.13 представлена зависимость влияния угла  $\alpha$  наклона лопаток на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3$  кг/м<sup>3</sup> и ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м.

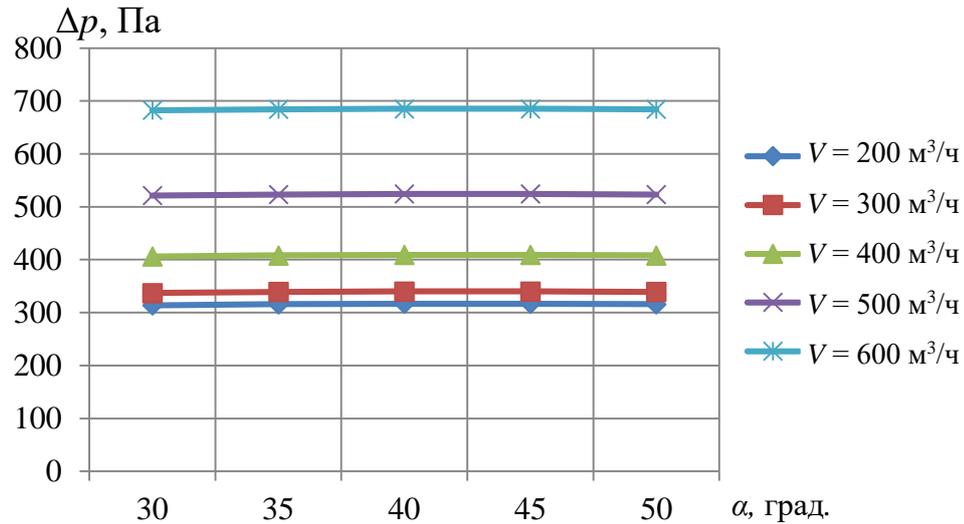


Рисунок 4.13 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от угла  $\alpha$  наклона лопаток при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$

На рисунке 4.13 видно, что все представленные зависимости носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

При минимальном значении объема  $V$  аспирационного воздуха параметр  $\Delta p$  имеет минимальные значения, о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  (рисунок 4.13, линия  $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 314 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 316 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 317 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 316 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 314-317 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление (рисунок 4.13, линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 337,1 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление

составляет 339,1 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 340,1 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 339,1 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 337,1-340,1 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  (линия  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4. 13, линия  $V = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 406,2 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 408,2 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 409,2 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 408,2 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 406,2–409,2 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха также увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление (рисунок 4.13, линия  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Например, при минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 30^\circ$  параметр  $\Delta p$  составляет 521,3 Па. При увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 523,3 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 524,3 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 523,3 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 521,3–524,3 Па.

При минимальном значении угла  $\alpha$  наклона лопаток, равном  $\alpha = 30^\circ$  (рисунок 4.13, линия  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 682,4 Па. При

увеличении угла  $\alpha$  наклона лопаток до  $\alpha = 35^\circ$  гидравлическое сопротивление составляет 684,4 Па. Максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет 685,4 Па. При максимальном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 50^\circ$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 684,4 Па. Изменение угла  $\alpha$  наклона лопаток позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 682,4–685,4 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.13, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при углах наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$ , объеме аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$  и составляет 685,4 Па.

На рисунке 4.14 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На рисунке 4.14 видно, что все представленные зависимости (кроме линии  $a = 0,4 \text{ м}$ ) имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , увеличивается гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ . Остальная зависимость, линия  $a = 0,4 \text{ м}$ , носит экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной  $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.14, линия  $a = 0,32 \text{ м}$ ), параметр  $\Delta p$  составляет 230,6 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  гидравлическое сопротивление составляет 296,8 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений  $0,3$  и  $0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$  параметр  $\Delta p$  увеличивается и составляет, соответственно, 393,8 и 521,6 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 680,2 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 449,6 Па.

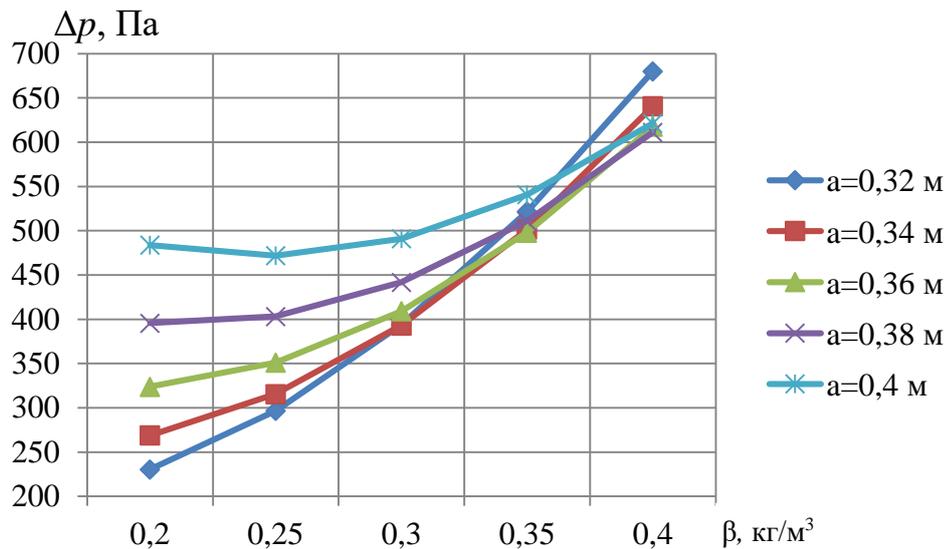


Рисунок 4.14 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях ширины  $a$  камеры рабочей зоны, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

Анализируя зависимость при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,34 \text{ м}$  (рисунок 4.14) приходим к выводу что, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.14, линия  $a = 0,34 \text{ м}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 269 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  гидравлическое сопротивление составляет 315,7 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг/м}^3$  параметр  $\Delta p$  увеличивается и составляет, соответственно, 393,2 и 501,5 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг/м}^3$  величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 640,6 Па. Значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 371,6 Па.

Анализируя уравнение регрессии (4.4) при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36 \text{ м}$  (см. рисунок 4.14) приходим к выводу что, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 4.14, линия  $a = 0,36 \text{ м}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 324 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг/м}^3$  и неизменных угле наклона лопаток и объеме аспирационного воздуха гидравлическое сопротивление увеличивается, и

составляет 351,2 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 409,2 и 498 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 617,6 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 293,6 Па.

Анализируя зависимость при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,38$  м (рисунок 4.14) приходим к выводу что, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.14, линия  $a = 0,38$  м) параметр  $\Delta p$  составляет 395,6 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> гидравлическое сопротивление увеличивается и составляет 403,3 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 441,8 и 511,1 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 611,2 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 215,6 Па.

При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равном 0,2 кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.14, линия  $a = 0,4$  м) параметр  $\Delta p$  составляет 483,8 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления достигается при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> и составляет 472 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 491 и 540,8 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 621,4 Па. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 472-621,4 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.14, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине камеры рабочей зоны  $a = 0,32$  м, концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,4$  кг/м<sup>3</sup> и составляет 680,2 Па.

На рисунке 4.15 представлена зависимость влияния концентрации  $\beta$  запыленного воздуха на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м.

На рисунке 4.15 видно, что все представленные зависимости (кроме линий  $V = 200$  м<sup>3</sup>/ч) имеют возрастающий характер, т.е. с увеличением концентрации запыленного воздуха, определяемой параметром  $\beta$ , увеличивается гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ . Остальная зависимость, линия  $V = 200$  м<sup>3</sup>/ч, носит экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

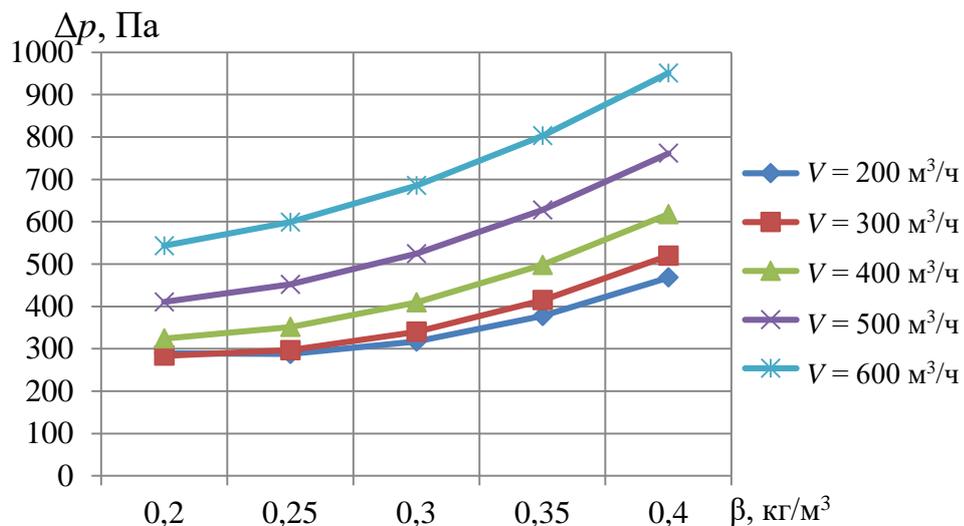


Рисунок 4.15 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от концентрации  $\beta$  запыленного воздуха при различных значениях объема  $V$  аспирационного воздуха, постоянном угле  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,36$  м

Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,2 кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.15, линия  $V = 200$  м<sup>3</sup>/ч), параметр  $\Delta p$  составляет 289 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> и составляет 287 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значения

0,3 кг/м<sup>3</sup> гидравлическое сопротивление составляет 317 Па. При дальнейшем увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,35 и 0,4 кг/м<sup>3</sup> величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  увеличивается и составляет, соответственно, 377,2 и 468,2 Па. Изменение концентрации  $\beta$  запыленного воздуха позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 287–468,2 Па.

Анализируя зависимость при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 300$  м<sup>3</sup>/ч (рисунок 4.15) приходим к выводу, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.15, линия  $V = 300$  м<sup>3</sup>/ч) параметр  $\Delta p$  составляет 283,5 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> и неизменных угле наклона лопаток и ширины камеры рабочей зоны гидравлическое сопротивление увеличивается, и составляет 296,4 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 340,1 и 414,6 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 519,9 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 236,4 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха увеличивает параметр  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  (линия  $V = 400$  м<sup>3</sup>/ч). При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2$  кг/м<sup>3</sup> (рисунок 4.15, линия  $V = 400$  м<sup>3</sup>/ч) параметр  $\Delta p$  составляет 324 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup> и неизменных угле наклона лопаток и ширины камеры рабочей зоны гидравлическое сопротивление увеличивается, и составляет 351,2 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35 кг/м<sup>3</sup> параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 409,2 и 498 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4 кг/м<sup>3</sup>, величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$

составляет 617,6 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 293,6 Па.

Дальнейшее увеличение объема  $V$  аспирационного воздуха также увеличивает значение параметра  $\Delta p$ , о чем говорит кривая, характеризующая гидравлическое сопротивление при  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Например, при минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.15, линия  $V = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 410,5 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  гидравлическое сопротивление увеличивается и составляет 452 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг}/\text{м}^3$  параметр  $\Delta p$  увеличивается также и составляет, соответственно, 524,3 и 627,4 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг}/\text{м}^3$ , величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 761,3 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 350,8 Па.

При минимальном значении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равном 0,2  $\text{кг}/\text{м}^3$  (рисунок 4.15, линия  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 543 Па. При увеличении концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до  $\beta = 0,25 \text{ кг}/\text{м}^3$  гидравлическое сопротивление возрастает и составляет 598,8 Па. С дальнейшим ростом концентрации  $\beta$  запыленного воздуха до значений 0,3 и 0,35  $\text{кг}/\text{м}^3$  параметр  $\Delta p$  увеличивается и составляет, соответственно, 685,4 и 802,8 Па. При максимальной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха, равной 0,4  $\text{кг}/\text{м}^3$ , величина гидравлического сопротивления  $\Delta p$  составляет 951 Па. Значение гидравлического сопротивления от минимального значения до максимального значения концентрации  $\beta$  запыленного воздуха увеличивается на 408 Па.

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.15, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , концентрации запыленного воздуха  $\beta = 0,4 \text{ кг}/\text{м}^3$  и составляет 951 Па.

На рисунке 4.16 представлена зависимость влияния ширины  $a$  камеры рабочей зоны на гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

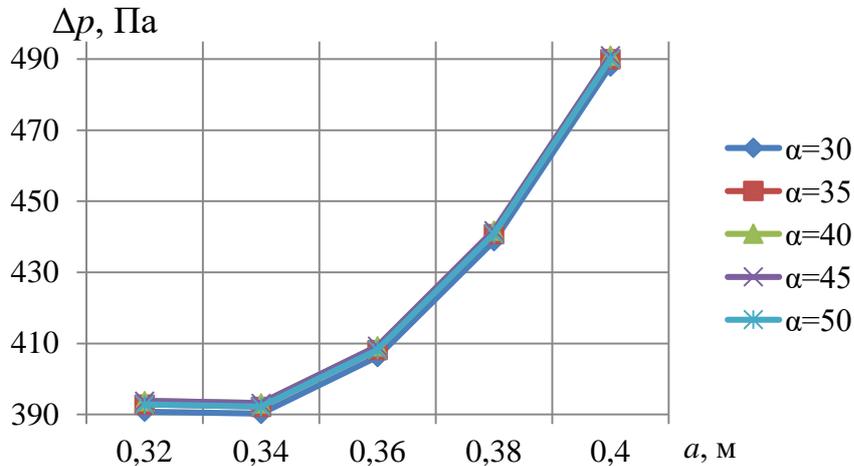


Рисунок 4.16 – Зависимость гидравлического сопротивления  $\Delta p$  от ширины  $a$  камеры рабочей зоны при различных значениях угла  $\alpha$  наклона лопаток, постоянной концентрации  $\beta$  запыленного воздуха  $\beta = 0,3 \text{ кг/м}^3$  и объеме  $V$  аспирационного воздуха  $V = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$

На рисунке 4.16 видно, что все представленные зависимости носят экстремальный характер в исследованном диапазоне варьирования факторов.

Например, при минимальном значении ширины  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,32 \text{ м}$  (рисунок 4.16, линия  $\alpha = 30^\circ$ ) параметр  $\Delta p$  составляет 390,8 Па. Минимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,34 \text{ м}$  и составляет 390,2 Па. Дальнейшее увеличение ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значений  $a = 0,36 \text{ м}$  и  $a = 0,38 \text{ м}$  приводит к увеличению значений гидравлического сопротивления  $\Delta p$  и составляет, соответственно, 406,2 и 438,8 Па. При увеличении ширины  $a$  камеры рабочей зоны до значения, равного 0,4 м, гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  составит 488 Па. Изменение ширины  $a$  камеры рабочей зоны позволяет варьировать значение гидравлического сопротивления в пределах 390,2-488 Па.

Дальнейшее увеличение угла  $\alpha$  наклона лопаток существенно не изменяет параметр  $\Delta p$ , о чем говорят кривые, характеризующие гидравлическое сопротивление (рисунок 4.16).

При анализе графиков, изображенных на рисунке 4.16, можно сделать вывод, что максимальное значение гидравлического сопротивления  $\Delta p$  достигается при ширине  $a$  камеры рабочей зоны  $a = 0,4$  м, углах  $\alpha$  наклона лопаток  $\alpha = 40^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$  и составляет  $\Delta p = 491$  Па.

### 4.3. Выводы

1. Экспериментально исследовано влияние объема  $V$  аспирационного воздуха, ширины  $a$  камеры рабочей зоны, концентрации  $\beta$  запыленного воздуха и угла  $\alpha$  наклона лопаток пылесоса инерционного типа на параметры его работы.

2. Экспериментальные исследования подтвердили теоретические предположения о том, что разработанный пылесос инерционного типа с регулируемыми параметрами обладает большей эффективностью, в сравнении с ранее рассмотренными пылесосами традиционных конструкций.

3. Исследованиями установлено, что максимальная эффективность пылеулавливания 97,7% в пылесосе инерционного типа с регулируемыми параметрами наблюдается при следующих конструкторско-технологических параметрах: объеме  $V$  аспирационного воздуха 400 м<sup>3</sup>/ч, ширине  $a$  камеры рабочей зоны 0,36 м, концентрации  $\beta$  запыленного воздуха 0,2 кг/м<sup>3</sup> и угле  $\alpha$  наклона лопаток 45°.

4. Исследованиями установлено, что снижение гидравлического сопротивления в пылесосе инерционного типа с регулируемыми параметрами обеспечивается при следующих конструкторско-технологических параметрах:  $V = 200$  м<sup>3</sup>/ч,  $a = 0,36$  м,  $\beta = 0,25$  кг/м<sup>3</sup>,  $\alpha = 40^\circ$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа направлений развития техники и технологии очистки запыленного воздуха на уровне изобретения предложена конструкция пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами. Показано, что этот аппарат при очистке грубодисперсной пыли может быть конкурентоспособен с другими типами пылеосадителей.

2. На основании разработанных методик расчета пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами получены аналитические выражения, позволяющие определить:

- скорость и давление потока в пылеосадителе инерционного типа с регулируемыми параметрами с учетом геометрической формы исследуемого объекта;

- траекторию движения твердых частиц в турбулентном потоке воздуха при взаимодействии их с отражающими лопатками;

- эффективность предлагаемого пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

3. Установлено, что эффективность пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами при улавливании грубодисперсной цементной пыли составляет от 85% до 98%, а его гидравлическое сопротивление варьируется от 230 Па до 950 Па.

4. В качестве основного плана эксперимента выбран центральный композиционный ротатабельный план (ЦКРП 2<sup>4</sup>), определены исследуемые факторы и уровни их варьирования. Для проведения экспериментальных исследований создана экспериментальная установка пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами, учитывающая все условия полного факторного эксперимента.

5. Экспериментально исследовано влияние варьируемых параметров на процесс очистки крупнозернистой пыли и на гидравлическое сопротивление

пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами. Получены уравнения регрессии для  $\varepsilon, \Delta p = f(V, a, \beta, \alpha)$ . при работе пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами в режиме очистки запыленного воздуха.

6. По результатам полученных патентов и результатам проведенных исследований разработана конструкторская документация на промышленный образец пылеосадителя инерционного типа с регулируемыми параметрами. Предложение по внедрению было рассмотрено на техническом совещании ООО «Траснстроймеханизация» Управление производственных баз и заводов. На основании проведенных исследований пылеосадитель инерционного типа с регулируемыми параметрами был рекомендован к использованию в промышленных условиях на пылеочистном оборудовании компании Danterm Filtration GmbH сушильного барабана стационарного асфальтового завода компании BENNINGHOVEN MBA-3000 в качестве аппарата первой стадии очистки запыленного воздуха.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агарков, А.М. Анализ конструкций обеспыливания воздуха / А.М. Агарков // В сборнике: Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы. Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – 2019. – С. 265-269.
2. Агарков, А.М. Двумерные уравнения динамики потока воздуха в концентраторе / А.М. Агарков // «Интерстроймех–2015» материалы международной научно-технической конференции. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. г. Казань. – 2015. – С. 7–11.
3. Агарков, А.М. Направления совершенствования конструкций циклонных аппаратов / А.М. Агарков // Эпоха науки. – 2015. – № 4. – С. 89.
4. Агарков, А.М. Разработка конструктивной схемы противоточного пылеконцентратора / А.М. Агарков // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов VII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3-х томах, Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Ассистент плюс" (Старый Оскол), 2014. – С. 14-16.
5. Агарков, А.М. Совершенствование аспирационных систем / А.М. Агарков // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. трудов Междунар. науч.–практ. конф., (Тамбов 31 янв. 2015 г.), Тамбов: Изд-во ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – Ч. 5. – С. 14-15.
6. Агарков, А.М., Разработка аспирационного оборудования для производства дорожно-строительных материалов / А.М. Агарков, Е.В. Харламов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства Материалы Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. – 2018. – С. 22-26.

7. Агарков, А.М. Влияние ширины камеры рабочей зоны инерционного концентратора на гидравлическое сопротивление / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77. – № 9. – С. 19-21.
8. Агарков, А.М. К вопросу о скорости движения воздуха и давлении в инерционном концентраторе / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 1. – С. 101-109.
9. Агарков, А.М. Трёхмерное моделирование газодинамических процессов в инерционном концентраторе / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 9. – С. 46-49.
10. Агарков, А.М. Гидравлическое сопротивление концентратора / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов, И.П. Бойчук, В.С. Прокопенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 160-163.
11. Агарков, А.М. Анализ гидравлического сопротивления концентратора / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов, В.С. Прокопенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 3. – С. 87-90.
12. Агарков, А.М. Совершенствование конструкций пылеочистного оборудования / А.М. Агарков, Р.Р. Шарапов, Е.В. Харламов // Системные технологии. – 2018. – № 4 (29). – С. 96-100.
13. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
14. Амброжевич, А.В. Численное моделирование теплофизических процессов в двигателестроении: учеб. пособие / А.В. Амброжевич. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 233 с.
15. Амброжевич, А.В. Малоресурсный метод численного моделирования течений в геометрических областях сложной формы / А.В. Амброжевич, И.П.

Бойчук, С.Н. Ларьков, В.А. Середа // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2008. – Вып. 6. – С. 5-10

16. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст] / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 725 с.

17. Андреев, С.Е. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава / С.Е. Андреев, В.В. Товаров, В.А. Перов. – М.: Металлургиздат, 1959. – 437 с.

18. Аранович, Г.И. Справочник по физико-химическим методам исследованиям объектов окружающей среды. / Г.И. Аранович, Ю.Н. Коршунов, Д.С. Ляликов. – Л.: Судостроение, 1978. – 648 с.

19. Ахназарова, С. А. Методы оптимизации эксперимента в химии и химической технологии / С. А. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

20. Балтренанс, П.Б. Методы и приборы контроля запыленности техносферы / П.Б. Балтренанс, Ю. Каулакас. – Вильнюс: Техника, 1994. – 208 с.

21. Балтренанс, П.Б. Методы и приборы определения физико-механических и химических свойств пылей / П.Б. Балтренанс, В. Шпакаускас. – Вильнюс: Техника, 1994. – 240 с.

22. Барон, Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 124 с.

23. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.

24. Белоусов, В.В. Теоретические основы газоочистки / В.В. Белоусов. – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.

25. Богданов, В.С. Новый подход к определению параметров зернового состава цемента аналитическим методом / В.С. Богданов, Р.Р. Шаропов, Д.В. Богданов, С.Ю. Кабанов // Цемент и его применение. – 2011. – № 1. – С. 135-40.

26. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. – М.: Высшая школа, 1982. – 378 с.

27. Большаков, В.Д. Теория ошибок наблюдений / В.Д. Большаков. – М.: Недра, 1993. – 223 с.
28. Бондарь, А.Т. Планирование эксперимента в химической технологии / А.Т. Бондарь, Г.А. Статюха. – Киев: Вища школа, 1976. – 181 с.
29. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат.лит, 1986. – 544 с.
30. Бутт, Ю.М. Портландцемент / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Сройиздат, 1974. – 328 с.
31. Вальдберг, А.Ю. Метод расчета эффективности механических пылеулавливателей по энергозатратам / А.Ю. Вальдберг, Н.С. Кирсанова. – ТОХТ, – 1992. – Т. 26. – № 1. – С. 145-147.
32. Вальдберг, А.Ю. Практическая реализация вероятностно-энергетического метода расчета центробежных пылеулавливателей / А.Ю. Вальдберг, Н.С. Кирсанова // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1994. – № 9. – С. 26-29.
33. Вальдберг, А.Ю. Теоретические основы охраны атмосферного воздуха от загрязнения промышленными аэрозолями / А.Ю. Вальдберг, Л.М. Исанов, Ю.И. Яламов. – С.-Пб.: МП «НИИОГАЗ-фильтр», 1993. – 235 с.
34. Великанов, М.А. Изв. АН СССР ОНТ, 1945. – № 7, 8. – 638 с.
35. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Ун-та, 2005. – 210 с.
36. Герасименко, Т.Е. Новые конструкции пылеуловителей циклонного типа / Т.Е. Герасименко, Е.И. Мешков, А.В. Дикарева // Цветная металлургия. – 2007. – № 1. – С. 32-37.
37. Гордон, Г.М. Контроль пылеулавливающих установок / Г.М. Гордон, И.Л. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1973. – 384 с.
38. Дуров, В.В. Проблема надежности пылеулавливающего оборудования / В.В. Дуров // Цемент. – 1985. – № 9. – С. 4–5.

39. Загрязнение атмосферного воздуха. Женева. Издание всемирной организации здравоохранения, 1997 г.
40. Зернистый фильтр: пат. 107484 Рос. Федерация. 2010152389/05 / Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Кабанов С.Ю.; заявл. 21.12.2010; опубл. 20.08.2011.
41. Идельчик, И.Е. Аэродинамика контактных, фильтрующих и адсорбционных аппаратов со стационарным слоем зернистых материалов / И.Е. Идельчик. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1982. – 40 с.
42. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
43. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Справочник / Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
44. Инерционный пылеотделитель: пат. 2056906 Рос. Федерация. 93 93049276 / Янушкевич В.А., Лукерченко В.Н.; заявл. 29.10.1993; опубл., 27.03.1996.
45. Инерционный пылеотделитель: пат. 2336928 Рос. Федерация. 2007126732/15 / Кочетов О.С. и др.; заявл. 13.07.2007; опубл., 27.10.2008, Бюл. № 30. 6 с.
46. Инерционный пылеуловитель: пат. 2377048 Рос. Федерация. 2008141175/15 / Бурков А.И. и др.; заявл. 16.10.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. 5 с.
47. Кабанов, С.Ю. Комбинированный зернистый фильтр: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Кабанов Сергей Юрьевич. – Белгород, 2011. – 171 с.
48. Кашьяп, Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
49. Клименко, А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли / А.П. Клименко. – М.: Химия, 1978. – 207 с.
50. Кочин, Н.Е. Теоретическая гидромеханика. Ч.1 / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, И.В. Розе. – М.: Физматгиз., 1963. – 584с.

51. Ладыгичев, М.Г. Зарубежное и отечественное оборудование для очистки газов / М.Г. Ладыгичев, Г.Я. Бернер. – М.: Теплотехник, 2004. – 696 с.
52. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. лит., 1986. – 736с.
53. Лапшин, А.Б. Технология обеспыливания в производстве цемента / А.Б. Лапшин. – Новосибирск: Стромэкология, 1995. – 150 с.
54. Лисиенко, В.Г. Оборудование промышленных предприятий воздуха. Справочное пособие: В 6 томах. Том 1. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2010. – 720 с.
55. Логачев, И.Н. Энергосбережение в аспирации: теоретические предпосылки и рекомендации / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. – 504 с.
56. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: учебн. для вузов / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
57. Моделирование турбулентных течений: учебное пособие / И.А. Белов, С.А. Исаев. – Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2001. – 108 с.
58. Моргулис, М.Л. Рукавные фильтры / М.Л. Моргулис, М.Г. Мазус, А.С. Мандрико, М.И. Биргер. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
59. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Часть 2 / Под общ. ред. Островского Г.М. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2006. – 916 с.
60. Овсянников, Ю.Г. Рециркуляционные системы аспирации оборудования механической переработки сыпучих материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Овсянников Юрий Григорьевич. – Белгород, 2000. – 18 с.
61. Островский, Г.М. Прикладная механика неоднородных сред / Г.М. Островский. – СПб.: Наука, 2000. – 359 с.
62. Пирумов, А.И. Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.

63. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: учебное пособие [Текст] / Т.В. Кондранин, Б.К. Ткаченко, М.В. Березникова [и др.]. – М.: МФТИ, 2005. – 104 с.
64. Прокопенко, В.С. Оптимизация работы оборудования для получения тонкодисперсных порошков / В.С. Прокопенко, Р.Р. Шарапов, А.М. Агарков, Р.Р. –мл. Шарапов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – №1. – С. 80-83.
65. Пылеуловитель-классификатор: пат. 2497569 Рос. Федерация. №2011148993/05 / Сугак А.В. и др.; заявл. 02.12.2011; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31. 6 с.
66. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. – М.: Мир, 1987. – 280 с.
67. Репле, Э.К. Гибридный фильтр – новая привлекательная концепция/ Э.К. Репле, Х.В. Педерсен // Цемент и его применение. – 2008. – № 4. – С. 93-96.
68. Репле, Э.К. Решение экологических вопросов в цементной промышленности / Э.К. Репле // Цемент Известь Гипс. – 2002. – № 2. – С. 36-72.
69. Русанов, А.А. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И. Урбах, А.П. Анастасиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.
70. Сапожников, М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М.Я. Сапожников. – М.: Высшая школа, 1971. – 382 с.
71. Саутин, С.Н. Применение ЭВМ для планирования эксперимента / С.Н. Саутин, А.Е. Пунин, С. Стоянов. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1988. – 78 с.
72. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальберг, Б.И. Мягков и др.; Под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
73. Справочник по пыли и золоулавливанию / под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

74. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
75. Талиев, В.Н. Аэродинамика вентиляции: учебное пособие для вузов / В.Н. Талиев. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
76. Тарарин, В.К. Технологические проблемы промышленной экологии силикатных производств: учебное пособие / В.К. Тарарин, И.Г. Гавриленко, В.А. Минко. – Белгород, МИСИ, БТИСМ, 1986. – 128 с.
77. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. II / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон, под общ. ред. Г.Ю. Джанелидзе и Д.Р. Меркина. – М.: «Наука» Гл.ред. физ.-мат.лит, 1973. – 488 с.
78. Теория и расчет пневмосмесителей непрерывного действия: монография / Т.Н. Орехова, В.А. Уваров. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 114 с.
79. Ужов, В.Н. Очистка промышленных газов фильтрами / В.Н. Ужов, Б.И. Мягков. – М.: Химия, 1970. – 320 с.
80. Ужов, В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В.Н. Ужов. – М.: Химия, 1967. – 344 с.
81. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – М.: Мир, 1980. – 539 с.
82. Физико-химические и механические свойства аэрозолей и пыли, выделяемых основным оборудованием цементных заводов (справочные материалы). – Новосибирск: НИПИОТСТРОМ, 1976.
83. Физико-химические свойства пыли промышленности нерудных строительных материалов (Справочник). – Новосибирск: Изд-во НИПИОТСТРОМ, 1974. – 78 с.
84. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей [Текст] / К. Флетчер. – М.: Мир, 1991. – 552 с.
85. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 351с.

86. Хан, Г. Статические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
87. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
88. Чекалов, Л.В. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов / Л.В. Чекалов. – Ярославль: Русь, 2004. – 424 с.
89. Чумаков, В.Н. ФИНГО: эффективная газоочистка / В.Н. Чумаков // Цемент и его применение. – 2006. – № 6. – С. 50-52.
90. Шаптала, В.Г. Теплофизический расчет воздухопроводов для аспирационных сетей промышленности строительных материалов / В.Г. Шаптала // Способы и средства механизации ремонтных и вспомогательных работ на предприятиях промстройматериалов. Сб. науч. тр. – Белгород: Изд-во МИСИ, БТИСМ, 1985. – 305 с.
91. Шаратов, Р.Р. Удар частицы о лопатку в концентраторе / Р.Р. Шаратов, И.П. Бойчук, А.М. Агарков, В.С. Прокопенко // Подъемно-транспортные и строительные системы: наука и инновации: межвузовский сборник научных трудов / Южно-Российский государственные политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2015. – С. 90-92.
92. Шаратов, Р.Р. Прогнозирование дисперсных характеристик высокодисперсных цементов / Р.Р. Шаратов, В.Г. Шаптала, Н.И. Алфимова // Строительные материалы. – 2007. – № 8. – С. 24-25.
93. Шаратов, Р.Р. Совершенствование процесса разделения в воздушном центробежном сепараторе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Шаратов Ринат Рашидович. – Белгород, 2016. – 17 с.
94. Шаратов, Р.Р. Специальное оборудование заводов по производству цемента: учебное пособие / Р.Р. Шаратов. – Белгород: БГТУ, 2006. – 144 с.
95. Шаратов, Р.Р. Исследование удара частицы о лопатку в инерционном концентраторе / Р.Р. Шаратов, А.М. Агарков, В.С. Прокопенко // В сборнике: ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2016 (International building technics-2016). Материалы Международной научно-технической конференции. Национальный

исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2016. – С. 57-61.

96. Шарапов, Р.Р. Исследование эффективности пылеулавливания в инерционном концентраторе с регулируемыми параметрами / Р.Р. Шарапов, А.М. Агарков, В.С. Прокопенко // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2016 (International building technics-2016). Материалы Международной научно-технической конференции. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2016. – С. 62-68.

97. Шарапов, Р.Р. Уравнение движения взвешенной в потоке воздуха частицы в концентраторе / Р.Р. Шарапов, И.П. Бойчук, А.М. Агарков, В.С. Прокопенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 5. – С. 175-178.

98. Шарапов, Р.Р. Моделирование процесса разделения тонкодисперсных материалов в динамических сепараторах / Р.Р. Шарапов, В.С. Прокопенко, А.М. Агарков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – №2. – С. 84-89.

99. Шарапов, Р.Р. Влияния объема аспирируемого воздуха инерционного концентратора на эффективность пылеулавливания / Р.Р. Шарапов, Е.В. Харламов, А.М. Агарков // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78. – № 11. – С. 26-29.

100. Швыдкий, В.С. Очистка газов / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2002. – 640 с.

101. Шевелев, Л.Н. Оценка эмиссии парниковых газов на предприятиях металлургической промышленности / Л.Н. Шевелев // Металлург. – 2007. – № 7. – С. 9-15.

102. Энтин, В.И. Аэродинамические способы повышения эффективности систем и аппаратов пылеулавливания в производстве огнеупоров / В.И. Энтин, Ю.В. Красовицкий, Н.М. Аншеуров. – Воронеж: Истоки, 1996. – 362 с.

103. Юшин, В.В. Техника и технология защиты воздушной среды / В.В. Юшин, В.Л. Лапин, В.М. Попов и др. – М.: Высшая школа, 2008. – 399 с.

104. Янковский, С.С. Средства контроля запыленности потоков в промышленных условиях / С.С. Янковский, Н.Г. Булгакова. – М.: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1985. – 36 с.

105. 40 years of Scheuch GmbH – dust collection at highest level / Cement International. – 2003. – № 6. – P. 40–43.

106. Barmina, I. Cofiring of the renewable with fossil fuel for the clean and effective heat energy production / I. Barmina, M. Gedrovics, V. Krishko, M. Zake // Environmental and Climate Technologies. – 2009. – 13(2). – P. 21-29.

107. Ergun, S. Ind. Eng. / S. Ergun, , A.A. Orning // Chem. – 1952. – v. 48. – P. 227.

108. Fazilat, H. Predicting the mechanical properties of glass fiber reinforced polymers via artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system / H. Fazilat, M. Ghatarband, S. Mazinani, Z.A. Asadi, M.E. Shiri, M.R. Kalae // Computational Materials Science. – 2012. – v. 58. – P. 31-37.

109. Haberl, A. Replace or Retrofit / A. Haberl, M. Buchon // World Cement. – 2003. – № 1. – P. 81-84.

110. Jakstoniene, I. Experimental research on the work of centrifugal filter when eliminating solid particles from clinker cooling system / I. Jakstoniene, D. Serebryanskyu, P. Vaitiekunas // The 8<sup>th</sup> International Conference «Environmental Engineering». Vilnius, Lithuania. – 2011. – v. 1. – P. 134-138.

111. Jakstoniene, I. Daugiakanalio ciklono efektyvumo tyrimai, iš 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos «Mokslas – Lietuvos ateitis» / I. Jakstoniene, P. Vaitiekunas // Aplinkos apsaugos inžinerija. – 2011. – P. 18-22.

112. Modern filter plants for dust collection in cement factories / Cement International Cement. – 2003. – № 6. – P. 55-63.

113. Baltrenas, P. Optimization of the new generation multichannel cyclone cleaning efficiency / P. Baltrenas, M. Pranskevicius, A. Venslovas // International Scientific Conference «Environmental and Climate Technologies – CONNECT 2014». Energy Procedia. – 72 (2015). – P. 188-195.

114. Reddy, C.S. Reducing Energy / C.S. Reddy // World Cement. – 33. – 2002. – № 11. – P. 33-38.
115. Reither, G. Latin cyclones / G. Reither // International Cement Review. – 2001. – № 10. – P. 48-49.
116. Rohlerl, E. High temperature dedusting / E. Rohler // World Cement. – 34. – 2003. – № 1. – P. 85-88.
117. Rusanova, J. Technological alternatives or use of wood fuel in combined heat and power production / J. Rusanova, D. Markova, G. Bazbauers // Environmental and Climate Technologies. – 2013. – 12(1). – P. 10-14.
118. Sharapov, R. Determination of the aerodynamic characteristics of a concentrator with adjustable parameters / R. Sharapov, A. Agarkov // VI International Scientific Conference Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education (IPICSE-2018). – 2018. – v. 251. – P. 03014. DOI: 10.1051/mateconf/201825103014.
119. Sharapov, R. Research dedusting efficiency of the inertial hub with adjustable parameters / R. Sharapov, P. Kapyrin, S. Lozovaya, V. Yadykina, A. Agarkov // MATEC Web of Conferences 5. Ser. «5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», IPICSE 2016». – 2016. – P. 03007. DOI: 10.1051/mateconf/20168603007.
120. Sharapov, R.R. Matrix Modeling of Technological Systems Grinding with Closed Circuit Ball Mill / R.R. Sharapov, A.M. Agarkov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – v. 24. – №10. – P. 1399-1403.
121. Sharapov, R.R. Research of aerodynamics of recirculation systems with forced aspirated air / R.R. Sharapov, Yu.G. Ovsyannikov, I.P. Boychuk, A.M. Agarkov, V.S. Prokopenko // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – v. 10. – № 21. – P. 42707-42713.
122. Sharapov, R.R. Determination of the optimal parameters of the equipment to obtain fine powders / R.R. Sharapov, I.V. Shrubchenko, A.M. Agarkov //

International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – v. 10. – № 12. – P. 31341-31348.

123. Suzdalenko, V. Regulation possibilities of biomass combustion / V. Suzdalenko, M. Gedovics, M. Zake, I. Barmina // Environmental and Climate Technologies. – 2012. – v. 8(1). – P. 49-55.

124. Thompson, Joe F. Numerical Grid Generation, Foundations and Applications / Joe F. Thompson, Z.A. Warsi, C.V. Mastin. – Amsterdam: North-Holland. – 1985. – 123 p.

125. Vaitiekunas, P. Analysis of numerical modeling of turbulence in a conical reverse-flow cyclone / P. Vaitiekunas, I. Jakstoniene // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. – 2010. – v. 18(4). – P. 321-328.

126. Erhard, Von H.S. Brenntechnik und Warmewirtschaft / Von H.S. Erhard, A. Scheuer // ZKG International. – 46. – 1993. – № 12. – P. 743-754.

127. Keuschnigg, Von J. Ergebnisse mit einem Hurriclon-Fliehkraftabscheider bei der Entstaubung einer Walzenschusselmuhke / Von J. Keuschnigg // ZKG International. – 46. – 1993. – № 12. – P. 775-777.

128. Duda, Walter H. Cement – Data – Book / Walter H. Duda. – 1985. – Vol. 1. – 617 p.

129. Peng, W. Hub Dries Separation Characteristics of Swirl-Tube Dust Separators / W. Peng, Alex C. Hoffmann // AIChE Journal. – 2004. – Vol. 50. – №. 1. – P. 87-96.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014152565/05, 24.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.12.2014

(45) Опубликовано: 27.11.2015 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ  
им. В.Г. Шухова, отдел создания и оценки  
объектов интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Шарапов Рашид Ризаевич (RU),  
Овсянников Юрий Григорьевич (RU),  
Бойчук Игорь Петрович (RU),  
Агарков Александр Михайлович (RU),  
Прокопенко Владислав Станиславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г.  
Шухова" (RU)

**(54) ИНЕРЦИОННЫЙ ПЫЛЕКОНЦЕНТРАТОР**

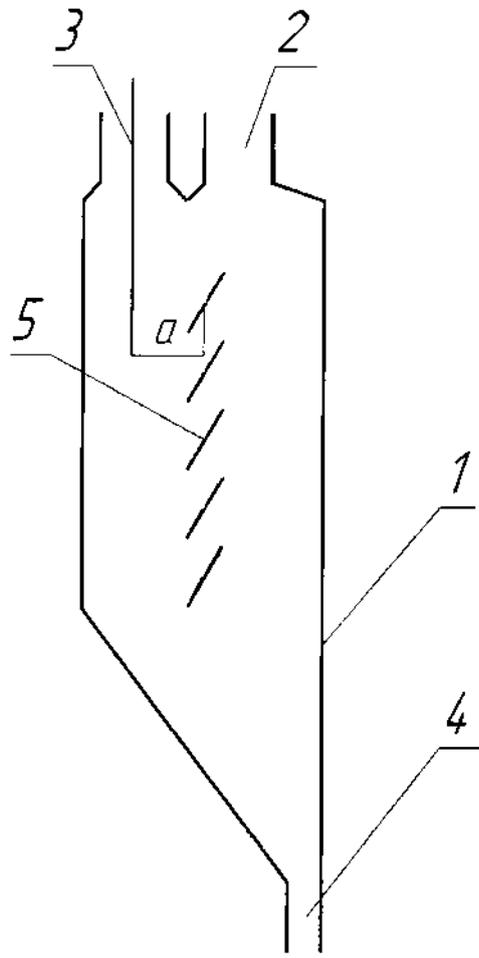
Формула полезной модели

Инерционный пылеконцентратор для управления процессом разделения дисперсных продуктов, содержащий корпус, патрубков подвода исходного материала, патрубков вывода тонкого материала, патрубков вывода грубого материала, систему жалюзийных элементов, установленных в средней части корпуса с возможностью их вращения вокруг своих осей, отличающийся тем, что жалюзийные элементы кинематически соединены между собой с возможностью их горизонтального перемещения относительно стенок корпуса.

RU 157341 U1

RU 157341 U1

RU 157341 U1



RU 157341 U1

Полезная модель относится к устройствам для очистки воздуха, а также для разделения порошковых материалов на фракции в различных отраслях промышленности.

Известен инерционный пылеотделитель, содержащий корпус, образованный входным, промежуточным и выходным воздуховодами. Между входным воздуховодом и промежуточным воздуховодом размещена первая система жалюзийных элементов, набранных из плоских параллельных пластин, частично перекрывающих друг друга и установленных под углом к нижней стенке корпуса. Между промежуточным и выходным воздуховодами размещена вторая система жалюзийных элементов, набранных из плоских параллельных пластин, частично перекрывающих друг друга [патент РФ №2056906, В01D 45/08, опубликовано 27.03.1996 г. ].

В рассмотренном инерционном пылеотделителе системы жалюзийных элементов установлены неподвижно под определенным углом, что препятствует возможности разделять исходный материал на фракции определенных размеров. Помимо этого за счет нескольких систем жалюзийных элементов пылеуловитель имеет большое гидравлическое сопротивление.

Наиболее близким техническим решением, принятым за прототип, является фильтр для очистки газов, содержащий корпус с входным и выходным патрубками для газа, фильтрующий элемент с установленными с возможностью изменения угла наклона направляющими пластинами (система жалюзийных элементов) кинематически соединенными между собой [патент SU №1357049, В01D 46/30, опубликовано 07.12.1987 г. ].

В рассмотренном прототипе система жалюзийных элементов не позволяет управлять в полной мере процессом разделения дисперсных продуктов. Помимо этого данное изобретение не предназначено для разделения запыленного воздуха по фракциям.

Предлагаемая полезная модель направлена на управление процессом разделения дисперсных продуктов, находящихся в транспортируемом воздухе, за счет того, что регулируемые жалюзийные элементы позволяют изменять траектории движения частиц твердой фазы.

Это достигается тем, что инерционный пылеконцентратор для управления процессом разделения дисперсных продуктов, содержит корпус, патрубков подвода исходного материала, патрубков вывода тонкого материала, патрубков вывода грубого материала, систему жалюзийных элементов, установленных в средней части корпуса с возможностью их вращения вокруг своих осей. В предложенном решении жалюзийные элементы кинематически соединены между собой с возможностью их горизонтального перемещения относительно стенок корпуса.

Вращение жалюзийных элементов вокруг своих осей, а также их горизонтальное перемещение относительно стенок корпуса позволяют изменять захват частиц пыли, находящейся в воздушном потоке и направлять их к выходному патрубку, расположенному в верхней части пылеконцентратора.

Сущность полезной модели поясняется графическими материалами, где на фиг. 1 показана схема инерционного пылеконцентратора; на фиг. 2 - схема возможного вращения и перемещения жалюзийных элементов.

Инерционный пылеконцентратор состоит из корпуса 1, например, прямоугольного сечения. В верхней части корпуса расположены патрубок подвода 2 исходного материала, например, цементной пыли, и патрубок вывода 3 тонкого материала. С противоположной стороны корпуса в нижней его части расположен патрубок вывода 4 грубой фракции. В средней части корпуса относительно его вертикальной оси

установлена система регулируемых жалюзийных элементов 5. Жалюзийные элементы закреплены, например, на осях, валах, которые установлены на боковых стенках корпуса.

Элементы кинематически соединены между собой, например, тягой, для  
 5 одновременного вращения вокруг своих осей и горизонтального перемещения, например, с помощью известного винтового механизма [Ромакин Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - С. 31-33], который может быть расположен как в верхней части пылеконцентратора, так и в нижней. Для этого в корпусе выполнены проточки.  
 10 Жалюзийные элементы могут поворачиваться относительно своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и перемещаться поперек корпуса от 0 мм до а.

Вращение обеспечивается тем, что на одной из осей, например, верхней, установлен привод (на фиг. не показан), либо электромеханический, либо ручной, и оси между собой связаны кинематически с возможностью их одновременного вращения. Также  
 15 предусмотрено одновременное перемещение жалюзийных элементов поперек корпуса от 0 мм до а за счет соединения осей системой тяг (на фиг. не показан) с винтовыми механизмами расположенными сверху и внизу пылеконцентратора. Варьируя величинами параметров а и а можно в широких пределах изменять дисперсность выходящего из пылеконцентратора продукта. Для управления процессом разделения  
 20 дисперсных частиц в потоке воздуха жалюзийные элементы вращаются вокруг своих осей от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

Инерционный пылеконцентратор работает под разрежением, создаваемым внешним вентилятором. Запыленный воздух поступает в корпус 1 инерционного пылеконцентратора по патрубку подвода 2 и затем поступает в зону установки системы  
 25 жалюзийных элементов 5. За счет разрежения, создаваемого внешним вентилятором, воздушный поток с мелкими частицами пыли поворачивает на  $180^\circ$  проходя через жалюзийные элементы и выходит через патрубок вывода 3 из пылеконцентратора. А крупные частицы, находящиеся в воздушном потоке, за счет сил инерции, пытаясь сохранить траекторию движения по прямой линии выпадают в патрубок вывода 4 и  
 30 выносятся из концентратора.

За счет того, что жалюзийные элементы способны вращаться вокруг своих осей и перемещаться по горизонтали, в нем создаются условия для управления процессом  
 35 отделения из запыленного потока частиц необходимого размера. Также можно подобрать такие режимы его работы при котором в зависимости от объемов перекачиваемого запыленного воздуха и типа пыли можно снизить гидравлическое сопротивление аппарата до минимума.

Данный пылеконцентратор может быть применен в сложных аэродинамических системах обеспыливания технологических процессов или разделения тонкодисперсных порошков, позволяющий в целом повысить эффективность пылеочистки или  
 40 эффективность разделения.

#### (57) Реферат

Полезная модель относится к устройствам для очистки воздуха, а также для  
 45 разделения порошковых материалов на фракции в различных отраслях промышленности.

Предлагаемая полезная модель направлена на управление процессом разделения дисперсных продуктов, находящихся в транспортируемом воздухе, за счет того, что регулируемые жалюзийные элементы позволяют изменять траектории движения частиц

твердой фазы.

Это достигается тем, что инерционный пылеконцентратор для управления процессом разделения дисперсных продуктов, содержит корпус, патрубок подвода исходного материала, патрубок вывода тонкого материала, патрубок вывода грубого материала, систему жалюзийных элементов, установленных в средней части корпуса с возможностью их вращения вокруг своих осей. В предложенном решении жалюзийные элементы кинематически соединены между собой с возможностью их горизонтального перемещения относительно стенок корпуса.

10

15

20

25

30

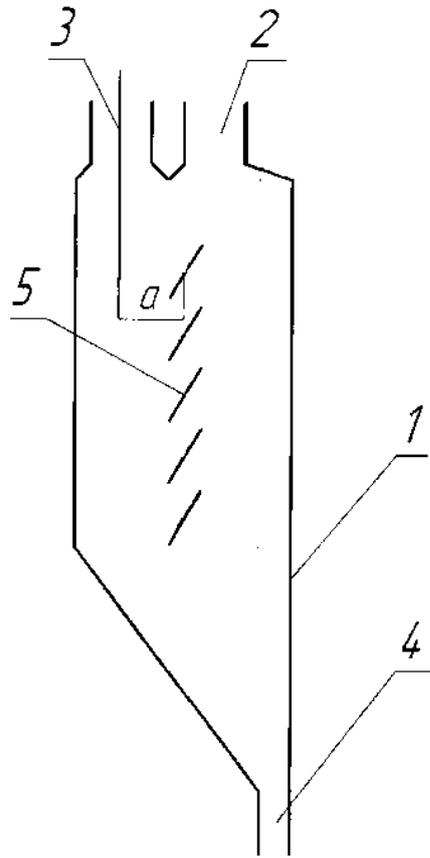
35

40

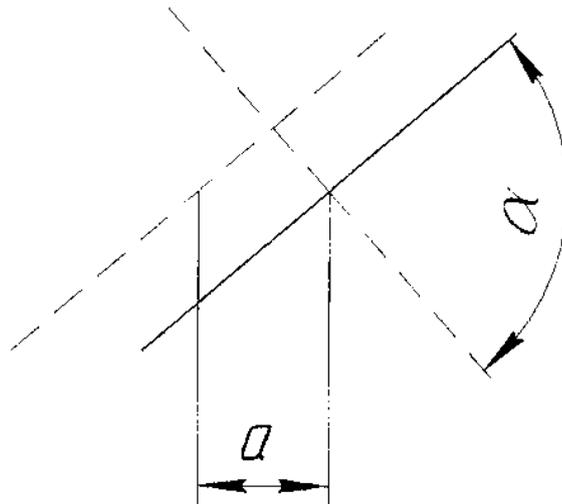
45



ИНЕРЦИОННЫЙ ПЫЛЕКОНЦЕНТРАТОР



Фиг. 1



Фиг. 2



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015155419, 23.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.12.2015Дата регистрации:  
19.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.12.2015

(43) Дата публикации заявки: 28.06.2017 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 19.07.2017 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ  
им. В.Г. Шухова, отдел создания и оценки  
объектов интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Прокопенко Владислав Станиславович (RU),  
Шарапов Рашид Ризаевич (RU),  
Агарков Александр Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г.  
Шухова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: БАУМАН В.А. и др.,  
"Механическое оборудование предприятий  
строительных материалов, изделий и  
конструкций", Москва, Машиностроение,  
1981, с. 172-173, рис. 122. RU 2005564 C1,  
15.01.1994. SU 50190 A1, 31.01.1937. SU 1641473  
A1, 15.04.1991. RU 2522674 C1, 20.07.2014. RU  
2407601 C1, 27.12.2010. US 3837483 A1,  
24.09.1974. ШАРАПОВ Р.Р. "Научные  
основы (см. прод.)

## (54) СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

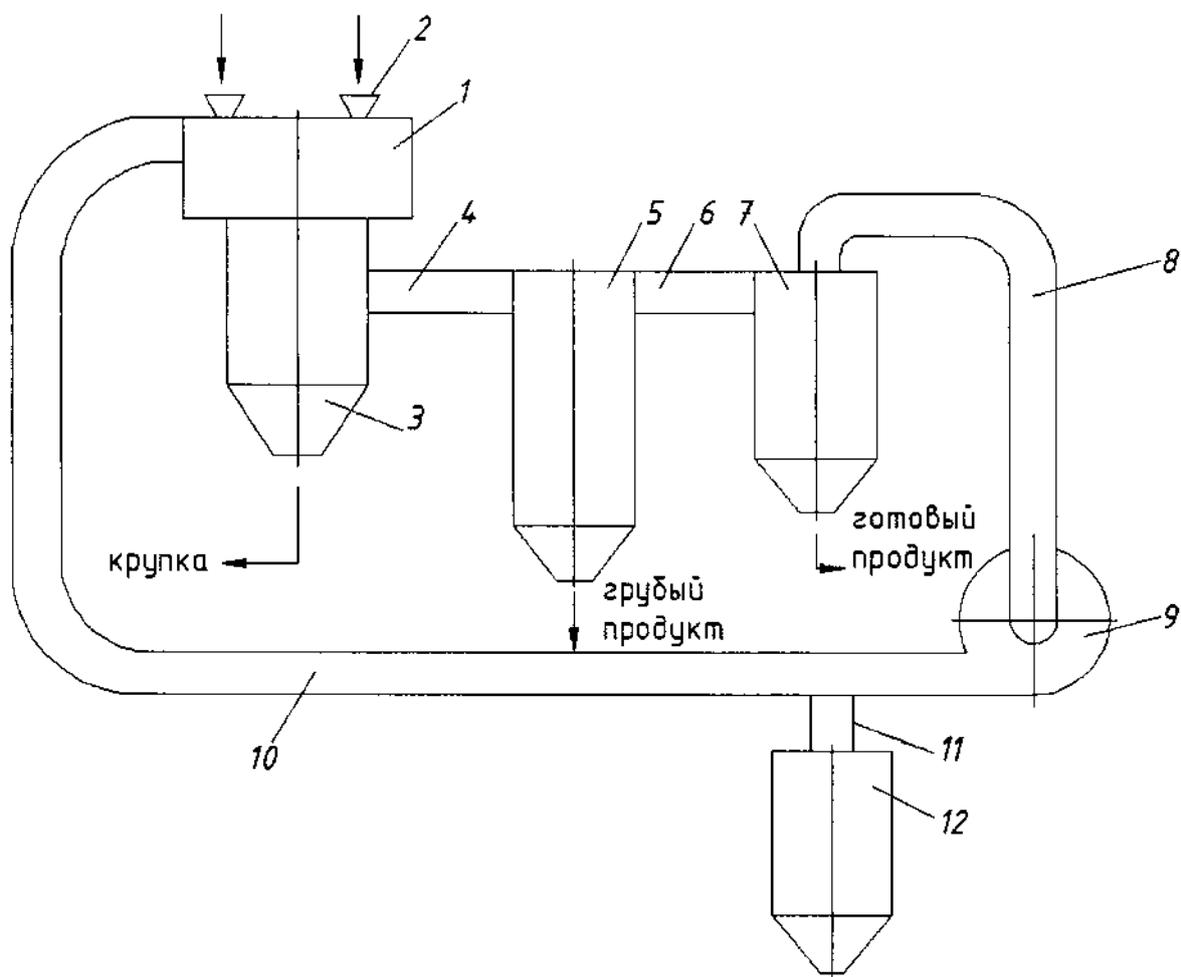
(57) Реферат:

Изобретение относится к области для разделения тонкодисперсных порошков и может быть использовано при производстве строительных материалов, в металлургической, горной и других отраслях промышленности. Способ для разделения тонкодисперсных порошков включает ввод исходного материала и воздушного потока в зону сепарации, разделение исходного материала под действием противоположно направленных сил, вывод крупки и промежуточного продукта, осаждение промежуточного продукта в осадительных устройствах и возврат воздуха в зону сепарации.

По ходу движения воздуха между зоной сепарации и осадительными устройствами осуществляют дополнительное разделение в инерционном концентраторе промежуточного продукта на готовый продукт, поступающий с воздухом в осадительные устройства, и грубый продукт, который самотеком поступает в патрубок возврата сепарационного воздуха и вместе с воздухом от осадительных устройств возвращается в зону сепарации. Технический результат - повышение эффективности разделения тонкодисперсных порошков. 1 ил.

RU 2 625 841 C 2

RU 2 625 841 C 2



Фиг. 1

(56) (продолжение):

создания технологических систем помола цемента на основе шаровых мельниц замкнутого цикла", Автореферат диссертации, Белгород, 2009. САПОЖНИКОВ М.Я., "Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций", Москва, Высшая школа, 1971, с. 229-23.

RU 2625841 C2

RU 2625841 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015155419, 23.12.2015

(24) Effective date for property rights:  
23.12.2015Registration date:  
19.07.2017

Priority:

(22) Date of filing: 23.12.2015

(43) Application published: 28.06.2017 Bull. № 19

(45) Date of publication: 19.07.2017 Bull. № 20

Mail address:

308012, g. Belgorod, ul. Kostyukova, 46, BGTU im.  
V.G. Shukhova, otdel sozdaniya i otsenki obektov  
intelektualnoj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Prokopenko Vladislav Stanislavovich (RU),  
Sharapov Rashid Rizaevich (RU),  
Agarkov Aleksandr Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
tehnologicheskij universitet im. V.G.  
Shukhova" (RU)(54) **METHOD OF SEPARATION OF FINELY DISPERSED POWDERS**

(57) Abstract:

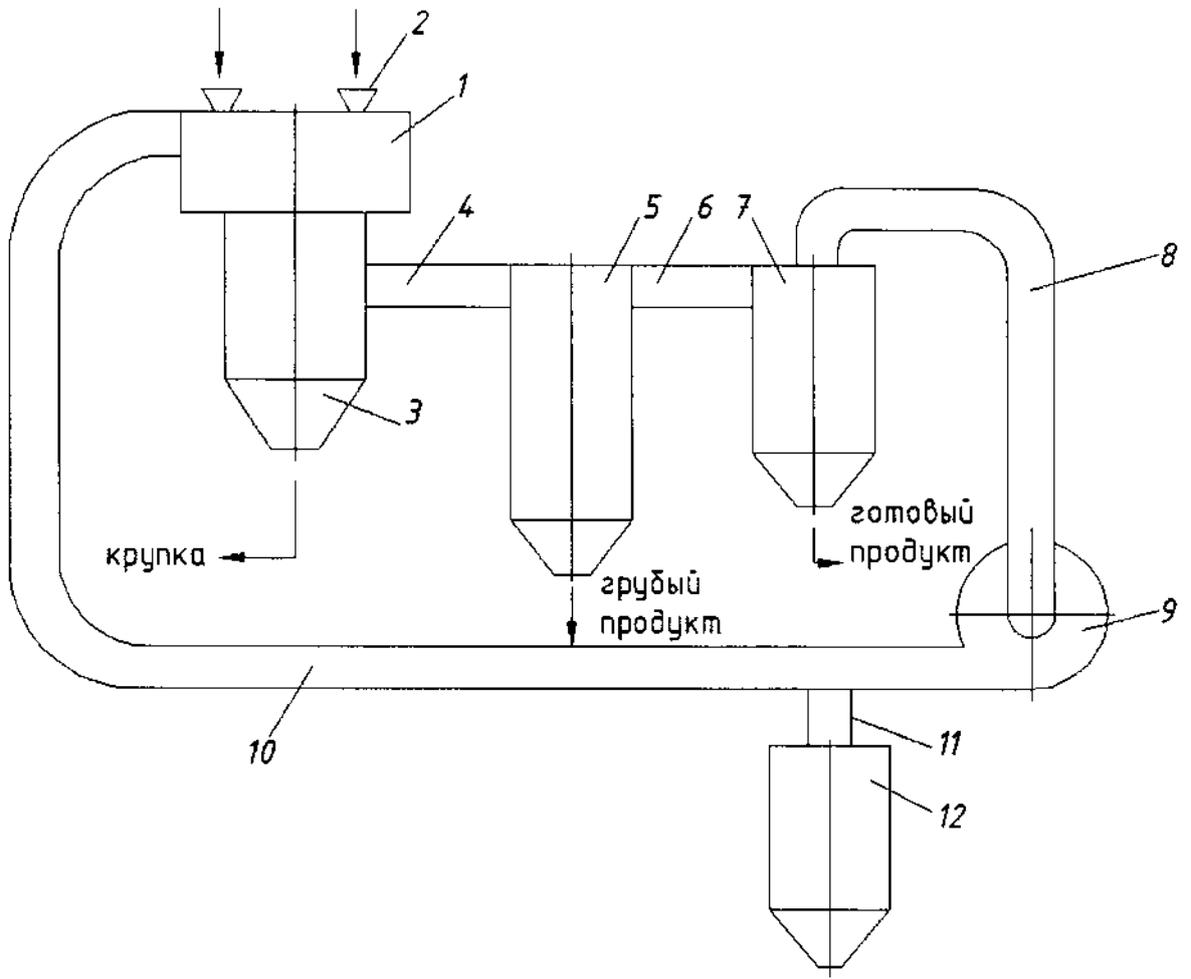
FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: method of separating fine dispersed powders includes the introduction of a raw material and an air stream into a separation zone, the separation of the starting material by opposing forces, the removal of the grits and the intermediate product, the precipitation of the intermediate in the precipitation devices, and the return of air to the separation zone. In the course of the movement of air between the separation zone and the precipitation devices, an

additional intermediate product is separated in the inertial concentrator into a finished product coming with air into the precipitation devices and a coarse product that gravitates into the separation air return pipe and, together with air from the precipitation devices, returns to separation zone.

EFFECT: increasing the efficiency of separation of fine dispersed powders.

1 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к области для разделения тонкодисперсных порошков и может быть использовано при производстве строительных материалов, в металлургической, горной и других отраслях промышленности.

Известен центробежный воздушно-проходной сепаратор (патент на полезную модель №40606 опубл. 20.09.2004 г., Бюл. №26) предназначенный для разделения тонкодисперсных порошков. Способ разделения в нем основан на вводе продуктов разделения и перемешивания их с воздухом внутри корпуса устройства. Разделение исходного продукта на крупку и готовый продукт происходит за счет разнонаправленных сил в зоне вращающегося ротора. С целью повышения эффективности разделения в нижней части центробежного сепаратора образована камера смешивания исходного материала с сепарационным воздухом, который затем поднимает весь исходный продукт в зону сепарации. Хорошее перемешивание исходного продукта с сепарационным воздухом происходит за счет воздействия на исходный продукт сепарационного воздуха в трех уровнях.

Недостаток этого устройства для разделения в том, что воздействие сепарационного воздуха впрямую на исходный продукт увеличивает турбулентность воздушных потоков внутри самого сепаратора, что увеличивает его размеры и снижает эффективность разделения. Другим недостатком такой конструкции является то, что очень сложен механизм управления процессом разделения, снижающий эффективность разделения, и как следствие производительность данного аппарата.

Известен ближайший аналог (Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. - М.: Машиностроение, 1981, с. 172, рис. 122) заявленного изобретения, как наиболее близкий по совокупности существенных признаков. Описано устройство, которое реализует следующий способ разделения тонкодисперсных порошков: исходный материал поступает в корпус центробежного сепаратора, где перемешивается с воздухом, поступающим извне. Далее пылевоздушная смесь поступает в зону действия вращающегося ротора и приводится во вращательное движение. За счет сил тяжести и центробежных сил в корпусе центробежного сепаратора происходит разделение исходного продукта на крупку и готовый продукт. Крупка выпадает в нижнюю часть центробежного сепаратора и самотеком выводится из центробежного сепаратора, а готовый продукт с воздухом выносится в циклоны, где освобождается от воздуха и осаждается, образуя готовый продукт, который отправляется на склад. Освободившись от готового продукта воздух при помощи внешнего вентилятора возвращается обратно в корпус центробежного сепаратора, где снова смешивается с исходным материалом и процесс повторяется. Между центробежным сепаратором и внешним вентилятором расположен патрубок, соединяющий систему с фильтром сепарационного воздуха. В данный фильтр сбрасываются излишки воздуха, засосанные в сепарационную систему через различного рода нештотности в системе.

Недостатком этого устройства для разделения является низкая эффективность разделения, в результате чего в крупке появляется готовый продукт.

Предлагаемое изобретение направлено на повышение эффективности разделения тонкодисперсных порошков за счет извлечения из крупки готового продукта.

Это достигается тем, что способ для разделения тонкодисперсных порошков включает ввод исходного материала и воздушного потока в зону сепарации, разделение исходного материала под действием противоположно направленных сил, вывод крупки и промежуточного продукта, осаждение промежуточного продукта в осадительных устройствах и возврат воздуха в зону сепарации. В предложенном решении по ходу

движения воздуха между зоной сепарации и осадительными устройствами осуществляют дополнительное разделение в инерционном концентраторе промежуточного продукта на готовый продукт, поступающий с воздухом в осадительные устройства, и грубый продукт, который самотеком поступает в патрубок возврата сепарационного воздуха и вместе с воздухом от осадительных устройств возвращается в зону сепарации.

Изобретение поясняется чертежом, где на фиг. 1 изображена схема устройства для разделения тонкодисперсных порошков.

Устройство для разделения тонкодисперсных порошков состоит из центробежного сепаратора 1, в верхней части которого расположены устройства для подачи исходного материала в сепаратор. Разделенный на две фракции материал выходит из центробежного сепаратора: по патрубку 3 крупка, а по патрубку 4 с сепарационным воздухом - промежуточный продукт. Центробежный сепаратор настроен таким образом, что из него по патрубку 4 выводится промежуточный продукт, более крупный, чем готовый. За счет меньшего эффекта ортокинетической коагуляции из центробежного сепаратора в инерционный концентратор с воздухом выносятся большая часть готового продукта, за счет чего эффективность центробежного сепаратора возрастает. В инерционном концентраторе происходит отделение грубого продукта, крупнее готового, который самотеком выходит из него и поступает в патрубок 10 возврата сепарационного воздуха и с воздухом поступает в центробежный сепаратор 1. Отделенный в инерционном концентраторе от грубого продукта готовый продукт поступает по патрубку 6 с воздухом в осадительные циклоны 7, где осаждаются и идет на склад готовой продукции. Освобожденный от мелкой фракции воздух направляется по патрубку 8 к внешнему вентилятору 9, а от него - в центробежный сепаратор 1. Далее по газоходу 10 установлен патрубок 11 для соединения с фильтром 12 сепарационного воздуха.

За счет ортокинетической коагуляции (Дуда В. Цемент / Пер. с нем. Е.Ш. Фельдмана: Под ред. Б.Э. Юдовича. - М.: Стройиздат, 1981, 228 с.), в крупку вместе с крупными частицами попадают и мелкие, соответствующие по своему размеру готовому продукту, что снижает эффективность разделения. По ходу движения сепарационного воздуха между центробежным сепаратором и циклонами установлен инерционный концентратор таким образом, что выделенная в нем из пылевоздушного потока готовый продукт с воздухом поступает в осадительные циклоны, а грубая продукт самотеком поступает в патрубок возврата сепарационного воздуха, который возвращается в центробежный сепаратор. Вывод из центробежного сепаратора более грубого, чем готовый, продукта позволяет вывести из центробежного сепаратора больше мелкой фракции, соответствующей по своему размеру готовому продукту.

Способ может быть осуществлен на предложенном устройстве для разделения тонкодисперсных порошков.

Грубомолотый материал, например цемент, направляется в устройства для подачи 2 и затем в центробежный сепаратор 1, где перемешивается с сепарационным воздухом, поступающим через газоход 10. За счет разнонаправленных сил, образованных вращающимся ротором и вращающимся потоком воздуха, в центробежном сепараторе происходит разделение исходного продукта на крупку и промежуточный продукт. Центробежный сепаратор работает таким образом, что он выделяет более грубый продукт, чем является готовый продукт. В связи с этим из центробежного сепаратора выносятся больше готового продукта из-за меньшего эффекта ортокинетической коагуляции. Разделившись в корпусе центробежного сепаратора на две фракции, крупка выходит из патрубка 3 самотеком, а промежуточный продукт выходит в виде аэрозвеси

по патрубку 4.

Промежуточная фракция попадает в инерционный концентратор 5, где разделяется на готовый продукт и грубый продукт. Грубый продукт самотеком поступает в газоход 10 и с воздухом поступает в центробежный сепаратор, а готовый продукт идет по патрубку 6, осаждаясь в осадительных циклонах 7, выпадает в его нижнюю часть и направляется на склад готовой продукции. Сепарационный воздух из осадительных циклонов 7 направляется по патрубку 8 во внешний вентилятор 9, из которого по патрубку 10 обратно в центробежный сепаратор 1. Далее по ходу воздушного потока в газоходе 10 установлен патрубок 11, который соединен с фильтром сепарационного воздуха 12, в который поступает часть воздуха, засосанного через различного рода неплотности.

В рассмотренном прототипе за счет эффекта ортокинетической коагуляции вместе с крупными частицами в крупку выпадают и мелкие частицы. Однако известным способом в установке для разделения тонкодисперсных порошков невозможно выделять максимальное количество мельчайших частиц материала. В нашем случае, из центробежного сепаратора выделяются промежуточный продукт, более крупный, чем готовый продукт, который поступает в инерционный концентратор 5, где уже происходит отделение от готового продукта. Благодаря меньшему ортокинетическому эффекту количество готового продукта, которое выделяет установка, возрастает. В связи с этим эффективность предлагаемого устройства возрастает.

#### (57) Формула изобретения

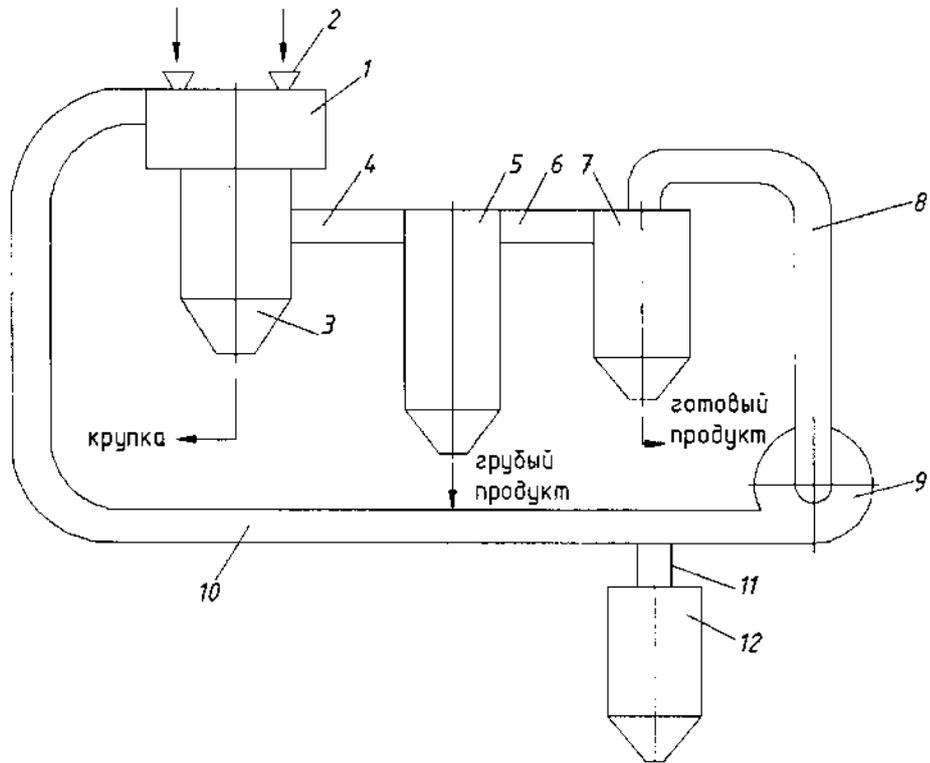
Способ для разделения тонкодисперсных порошков, включающий ввод исходного материала и воздушного потока в зону сепарации, разделение исходного материала под действием противоположно направленных сил, вывод крупки и промежуточного продукта, осаждение промежуточного продукта в осадительных устройствах и возврат воздуха в зону сепарации, отличающийся тем, что по ходу движения воздуха между зоной сепарации и осадительными устройствами осуществляют дополнительное разделение в инерционном концентраторе промежуточного продукта на готовый продукт, поступающий с воздухом в осадительные устройства, и грубый продукт, который самотеком поступает в патрубок возврата сепарационного воздуха и вместе с воздухом от осадительных устройств возвращается в зону сепарации.

35

40

45

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ



Фиг. 1



Общество с ограниченной ответственностью

# Т Р А Н С С Т Р О Й М Е Х А Н И З А Ц И Я

ИНН/КПП 7715568411 / 997450001. Место нахождения: 121059, г. Москва, ул. Киевская, д.7, к.2, этаж 10, ком.6  
Телефон/Факс : +7(495) 982-37-62, +7(495) 788-84-21 / (495) 788-81-10 E-mail : info@tsm-msk.ru. www.tsm.ru

## ПРОТОКОЛ

Технического совещания ООО «Трансстроймеханизация»

Управление производственных баз и заводов.

«16» апреля 2021 г.

г. Москва

### ПРИСУТСТВОВАЛИ:

#### От ООО «Трансстроймеханизация»

Заместитель генерального директора  
(по механизации)

Гращенко А.Ю.;

Руководитель управления производственных баз и заводов

Дорошенко М.Ю.;

Начальник отдела-Главный Механик

Горбатюк С.С.;

Старший механик

Богатырев Д.А.;

Заместитель начальника отдела

Савичев А.О.

#### От НИУ МГСУ

Зав. кафедрой механизации строительства

Шарапов Р.Р.;

Ст. преподаватель кафедры механизации строительства

Агарков А.М.

### ПОВЕСТКА ДНЯ:

Заслушивание информации о результатах научных исследований НИУ МГСУ по совершенствованию процесса пылеочистки в разработанном инерционном концентраторе пыли.

#### В ходе заседания были заслушаны:

##### **Агарков Александр Михайлович:**

Доложил о результатах теоретических и экспериментальных исследований по повышению эффективности очистки запыленного воздуха в разработанном инерционном концентраторе на первой стадии пылеочистки.

В работе предлагается установить вместо черного фильтра перед рукавным фильтром компании Danterm Filtration GmbH разработанный на кафедре МС инерционный концентратор пыли. Концентратор позволяет удалять из потока частицы пыли крупней 0,08 мм. При этом инерционный концентратор может быть вставлен в структуру пылесадительного агрегата или, для удобства, быть отдельным агрегатом.

Для реализации разработанного инерционного концентратора пыли разработан технический проект с подбором необходимого оборудования и всей необходимой аппаратурой. Реализация предлагаемого проекта на пылеочистном оборудовании компании Danterm Filtration GmbH сушильного барабана размером 2,5 x 9,0 м стационарного асфальтового завода компании BENNINGHOVEN MBA-3000 позволит снизить остаточное содержание пыли в сбрасываемом воздухе не более 10 мг/м<sup>3</sup>.

**Вопросы задавали:**

Савичев А.О., Богатырев Д.А.

**В ходе совещания приняты решения:**

Учитывая новизну, теоретическую и экспериментальную проработку предложенного для внедрения на пылеочистном оборудовании компании Danterm Filtration GmbH сушильного барабана размером 2,5 x 9,0 м стационарного асфальтового завода компании BENNINGHOVEN MBA-3000 инерционного концентратора в качестве аппарата первой стадии очистки запыленного воздуха, разработанного сотрудниками НИУ МГСУ Шарповым Рашидом Ризаевичем и Агарковым Александром Михайловичем и то, что при внедрении концентратора остаточное содержание пыли после аппарата не должно превышать 100 мг/м<sup>3</sup>, а остаточное содержание пыли в сбрасываемом воздухе не будет превышать 10 мг/м<sup>3</sup>, включить в план реконструкции асфальтобетонных установок ООО «Трансстроймеханизация» на 2022/2023 годы. Инерционный пылеконцентратор для модернизируемой установки разработан с учетом того, что количество отработанных газов проходящих через сушильный барабан размером 2,5 x 9,0 м стационарного асфальтового завода компании BENNINGHOVEN MBA-3000 составляет до 42 000 Нм<sup>3</sup>/ч, а температура отходящих газов не превышает 140 °С.

**Голосовали:**

«ЗА» – единогласно,

«ПРОТИВ» – нет,

«ВОЗДЕРЖАЛИСЬ» – нет.

ООО «Трансстроймеханизация»

Савичев А.О.



Богатырев Д.А.

НИУ МГСУ

Шарпов Р.Р.



Агарков А.М.

