

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная Школа Энергетики
 Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) – НОЦ И.Н.Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Экспериментальное исследование сепарационных характеристик системы газоочистки при различных геометрических параметрах циклонных аппаратов

УДК 621.928.93

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ83	Цыганков Михаил Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Разва Александр Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Маланина В.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Борисов Б.В.	Доктор физико-математических наук, Профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-1, 3,), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий промышленной теплотехники для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач разработки и проведения мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Требования ФГОС (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-1, 3, 8), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , в области технологий промышленной теплотехники, с использованием современных методов и средств математического моделирования и практической инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, ОПК-2, ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Разрабатывать инновационные технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-1, 3, 7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области современных технологий промышленной теплотехники в <i>сложных, неопределенных</i> условиях и представлять полученные результаты	Требования ФГОС (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-1, 2, 3, 7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности при внедрении, <i>эксплуатации</i> и обслуживании современных высокотехнологичных аппаратов и систем, обеспечивая их <i>высокую эффективность</i> , соблюдение правил охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ОК-1, 2, ОПК-1, ПК-3, 4, 5, 6, 9, 10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС ОК-1, ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной профессиональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной научно-исследовательской и инженерной деятельности	Требования ФГОС ОПК-2, 3, ПК-7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных	Требования ФГОС ОК-1, 2, ОПК-1, ПК-3, 4, 5, 7, 8, 9, 10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1),

	ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений	согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания философских аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> , мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС ОК-1, 2, ОПК-1, ПК-3, 4, 5, 7, 8, 9, 10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и, используя творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ОК-1, 3, ОПК-1, ПК-4, 8), Критерий 5 АИОР (1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная Школа Энергетики
 Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) – НОЦ И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
5БМ83	Цыганкову Михаилу Андреевичу

Тема работы:

Экспериментальное исследование сепарационных характеристик системы газоочистки при различных геометрических параметрах циклонных аппаратов	
Утверждена приказом ректора (номер, дата)	№43–61/с от 12.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ul style="list-style-type: none"> – объект исследования: сепарационные характеристики инерционных аппаратов; – предмет исследования: факторы, определяющие эффективность применения инерционных аппаратов в различных сферах производства и энергетики; – режим работы: непрерывный; – материал исследуемого объекта: дисперсный материал М400, цемент.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация способов обеспыливания воздуха 2. Обзор сфер применения обеспыливания воздуха с помощью циклонных аппаратов 3. Рассмотрение физики процессов осаждения частиц в инерционных аппаратах 4. Обзор отдельных проектов 5. Постановка задачи исследования 6. Лабораторные исследования 7. Анализ проведенных измерений 8. Разработка рекомендаций по использованию циклонных аппаратов 9. Возможные перспективы совершенствования обеспыливания воздуха 10. Заключение
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>(количество слайдов презентации)</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Маланина В.А., доцент отделения социально-гуманитарных наук
«Социальная ответственность»	Романова С.В., старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин
«Раздел ВКР на английском языке»	Костомаров П.И., доцент отделения иностранных языков

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение
Лабораторные исследования
Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23.12.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Разва Александр Сергеевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ83	Цыганков Михаил Андреевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 14 рис., 9 табл., 90 источников, 1 обязательное приложение.

Ключевые слова: обеспыливание, инерционные аппараты, дисперсное вещество, циклон, воздушный поток, пылесборник, вихревой разгрузитель, рукавный фильтр, выхлопной патрубков, эффективность.

Объектом исследования являются сепарационные характеристики инерционных аппаратов.

Цель работы - изучение влияния дополнительного местного сопротивления для изменения траектории движения запыленного потока в противоточном циклоне на сепарационные характеристики пылеотделительной установки.

В процессе исследования проводился сбор и обработка информации по данной тематике, а также проводились эксперименты на научно-исследовательском стенде с различными модификациями и конструкторскими решениями для достижения большей эффективности.

В результате исследования была рассчитана эффективность циклонного аппарата с лопатками на выхлопном патрубке для дополнительного подкручивания потока и отбрасывания частиц пыли к стенкам циклона. Были разработаны рекомендации для дальнейшего исследования влияния местных сопротивлений на эффективность циклонных аппаратов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: для создания необходимого перепада давлений в системе был использован центробежный вентилятор ВЦ, производства НП ООО "Тайра" ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью $Q=1000$ м³/ч при разрежении 3000 Па.

Степень внедрения: на сегодняшний день инерционные аппараты являются наиболее распространенными среди всех пылеочистительных устройств.

Область применения: различные отрасли промышленности (химическая, металлургическая, деревообрабатывающая, пищевая и т. д.), а так же в аспирационных и пневмотранспортных установках.

Экономическая эффективность/значимость работы: учитывая тот факт, что инерционные аппараты являются наиболее экономичными и простыми устройствами для очистки запыленных газов, работа над усовершенствованием и повышением эффективности этих аппаратов является актуальной и значимой на данный момент.

В будущем планируется более детальное изучение циклонных аппаратов обновленной конструкции для очистки газов от более мелкодисперсного материала (например очистка дымовых газов в которых размеры частиц достигают 5-10мкм), разработка каких либо улучшений в конструкции аппаратов для большей эффективности.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
ОБЗОР ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА	14
1.1 Классификация способов обеспыливания воздуха	14
1.1.1 Пылеосадительные камеры	16
1.1.2 Жалюзийные пылеуловители.....	17
1.1.3 Инерционные пылеуловители	18
1.1.4 Ротационные пылеуловители.....	19
1.1.5 Циклонные аппараты.....	20
1.2 Физические основы осаждения пыли в аппаратах сухой инерционной очистки	22
1.3 Оценка эффективности систем обеспыливания воздуха.....	24
1.4 Обзор отдельных проектов по исследованию инерционных аппаратов	28
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1 Постановка задачи исследования.....	34
2.2 Описание установки и проведенных опытов	34
2.3 Обработка результатов.....	39
2.3.1 Расчет эффективности пылеулавливания.....	39
2.3.2 Методика расчета погрешности	46
2.4 Выводы по разделу	49
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	51
3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	51
3.2 Смета затрат на проект	53
3.2.1 Материальные затраты	53
3.2.2 Амортизация компьютерной техники.....	53
3.2.3 Затраты на заработную плату	53
3.2.4 Затраты на социальные нужды	54
3.2.5 Прочие затраты.....	55

3.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	56
3.4 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	57
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	59
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
4.2 Производственная безопасность	63
4.3 Экологическая безопасность проекта	70
Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	77
Приложение А	85
Introduction	86
Research problem statement	89
Description of the installation and experiments	89
Results Processing.....	93
Findings.....	97
Conclusion.....	98
References	100

ВВЕДЕНИЕ

Системы очистки воздуха применяются в современном производстве повсеместно. В химической, металлургической, деревообрабатывающей, строительной, пищевой промышленности воздухоочистительные аппараты применяют для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха в производственных помещениях для комфортных условий труда.

Некоторые технологические процессы связаны с перемещением и механической обработкой сыпучих продуктов, а также обработка твердых материалов сопровождаются большим выделением пыли в окружающую среду. Необходимым техническим решением на таких производствах являются аспирационные системы. Задачей которых является поддержание чистоты воздуха и создание комфортных условий в рабочих помещениях. При аспирации создается разрежение внутри герметизирующего оборудования, что позволяет устранить поступление пыли в помещение.

Так же пылеулавливающие устройства играют большую роль в пневмотранспортных установках. Пневмотранспортные установки – установки, использующие воздух в качестве несущей среды, то есть воздух вместе с перемещаемым материалом движется по трубопроводам под разностью давлений. Такие установки часто используются при транспортировке различных строительных материалов, например, цемента, так же с помощью пневмотранспортных установок перемещаются различные пищевые сыпучие продукты (зерновые, злаковые, сахар). От эффективности сепарации воздушно-дисперсной смеси напрямую зависит потери транспортируемого материала.

В качестве установок, разделяющих воздух и дисперсный материал находящийся в нем могут быть использованы различные установки. Например: электростатические воздухоочистители (принцип работы основан на притягивании мелких частиц к элементам имеющим статический заряд),

фильтрующие воздухоочистители (воздух просачиваясь через фильтрующий элемент оставляет дисперсное вещество в нем), инерционные воздухоочистители (используют центробежную силу и силу инерции криволинейно движущегося потока загрязнённого воздуха), моющие воздухоочистители (используют силу натяжения воды для прилипания частиц к мокрым элементам, так же увлажняют воздух). Среди всех вышеперечисленных воздухоочистителей самыми экономичными и простыми в использовании устройствами являются инерционные аппараты. Главным недостатком инерционных аппаратов является низкая эффективность при наличии в воздухе дисперсных частиц размером менее 15-20мкм [1]. Фильтрующие очистители способны уловить даже самые мелкие частицы, однако время их эффективной работы ограничено из-за быстрого засорения, при не своевременной замене возможны разрывы фильтра. Чаще всего на производствах с необходимостью глубокого обеспыливания применяют комбинированную очистку, то есть фильтры устанавливают после циклонных аппаратов.

В современной науке и технике интерес, который проявляют к проточным (сквозным) дисперсным системам, можно объяснить следующими факторами:

1. Эти системы отличаются полной проточностью как сплошной, так и дискретной сред. Поэтому они позволяют перейти к непрерывным процессам, обеспечить противоток в различных технологических и тепловых процессах; дисперсные потоки можно использовать в качестве рабочего тела.

2. “Запыленные потоки могут быть следствием (в ряде случаев нежелательным) реализации определенных технологических процессов. В любом случае эффективность этих процессов зависит от правильной организации и использовании потоков газозвеси.”

3. “При отсутствии ограничений со стороны технологии можно в определенных, но достаточно широких пределах осуществлять эффективное

управление свойствами газового потока путем соответствующего выбора качества и количества твердых частиц, специально вводимых в поток.”

4. Изучение поведения твердых частиц в газовых потоках имеет важное значение для разработки средств предотвращения загрязнения атмосферы.

Активное внедрение в промышленность, а соответственно и повышенный интерес к изучению инерционных аппаратов началось в начале XX века. Для совмещения функций сепарации и транспортировки очищаемой среды разрабатывались так называемые ротационные пылеуловители. Ротоклоны применялись для очистки дымовых газов от золы в Соединенных Штатах Америки в 1920-1950 годы. Для перемещения поршкообразных материалов, проведения погрузочно – разгрузочно работ, в порошковых технологиях, широкое применение нашли пневмотранспортные установки, в которых также используются ротационные пылеотделители. В мировом научном сообществе 30 – 80 г.г. прошлого столетия инженеры проводили разработки сравнительно дешевых малогабаритных инерционных воздухоочистителей для защиты двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, вентилирования кабин передвижных средств, автомобильного транспорта, зерноуборочных комбайнов на базе ротационных пылеуловителей, альтернативных системам, состоящими из узлов разгрузки, фильтрации, нагнетания. Ротационные аппараты выполняли функции воздухоочистителей и нагнетателей. Оценки эффективности обеспыливания воздуха, поступающего в кабины, основанные на расчете траекторий частиц в сепарационных объемах аппаратов, показали возможность удаления из воздуха наиболее респирабельноопасной части пыли (более 1,5 мкм) и применения этих аппаратов для санитарной очистки воздуха. Однако эксплуатационные показатели аппаратов оказались ниже расчетных. Широкое применение ротационные аппараты нашли в качестве классификаторов пылевидных материалов.

Много усилий было затрачено на разработку аппаратов с агломерацией частиц на поверхностях каналов роторов, вращающихся фильтров, сеток.

Однако широкого распространения они не получили, хотя в справочных руководствах приводятся как перспективные пылеотделители.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод что инерционные аппараты более предпочтительны в сравнении с остальными видами воздухоочистки. Что доказывает актуальность более подробного изучения процессов в циклонных аппаратах и разработки конструкторских решений, повышающих эффективность улавливания мелкодисперсного вещества. Эффективность очистки воздуха в циклонных аппаратах напрямую зависит от состава дисперсной части и влажности пылевоздушной смеси. Так эффективность одного и того же циклона может приближаться к ста процентам и стремиться к бесконечности. Что доказывает важность экспериментального исследования каждого аппарата для разных условий использования.

В данной работе было проведено исследование сухой пылеочистки воздуха с помощью противоточного циклонного аппарата с применением местного сопротивления для изменения траектории движения потока, а также дополнительного подкручивания потока для усиления действия центробежной силы. Разработаны рекомендации по дальнейшему исследованию данной области. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Проведение обзора научной литературы по тематике исследования процессов обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах;
- Постановка задачи исследования;
- Подготовка экспериментального стенда, проведение экспериментальных исследований и анализ результатов;
- Разработка новых рекомендаций по использованию инерционных аппаратов.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

1.1 Классификация способов обеспыливания воздуха

Под обеспыливанием понимают удаление дисперсного материала (пыли) из газообразной среды.

Пыль – твердые частицы размером не более 0,5мм (500мкм) [8]. В зависимости от размера частиц пыль разделяют на:

- крупную (500-100мкм);
- мелкую (100-10мкм);
- тонкую (10-0,1мкм);
- весьма тонкую (<0,1мкм).

Обеспыливание представляет собой применение направленных внешних силовых полей или введение искусственных аэродисперсных систем. Процесс обеспыливания включает в себя три основных этапа пылеочистка, пылеулавливание и рассеивание пыли. Каждый из данных этапов может быть осуществлен собственным методом. Наиболее важной частью системы и объектом исследования является пылеочиститель. Главными параметрами которого являются сепарационные, аэропылединамические и технологические. На основе которых можно более четко классифицировать пылеочистительные аппараты:

- физические;
- химические;
- физико-химические;
- биохимические;
- физико-биохимические.

Эффективность применения зависит от дисперсного и газового составов, а также от внешних параметров. Поэтому каждый из вышеперечисленных методов очистки имеет широкое распространение с достаточной эффективностью. Однако физические методы (мокрые, сухие,

электрические) подходят к большому числу сфер применения. Что влечет за собой большее количество внимания и исследований.

Во главе сухого метода лежат центробежные, инерционные, гравитационные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. Когда используют мокрый метод пылеочистки, то осуществление происходит путем тесного взаимодействия между запыленным воздухом и каплями или жидкой пленкой. Очистка газов электрическим способом работает на электризации взвешенных частиц в газе и осаждение их на осадительные электроды.

Для тонкой и особо тонкой очистки воздуха применяют двухступенчатую очистку. На первой ступени происходит предварительная очистка, в качестве первой ступени чаще всего используются инерционные аппараты либо жалюзийные решетки. В качестве второй ступени применяют пористые фильтры, электрофильтры, и мокрые пылесадители. В результате двухступенчатой очистки величина проскока не превышает 1-2% [2].

По ГОСТ 12.2.043—89 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация.» все оборудование для очистки газов и воздуха от взвешенных дисперсных частиц подразделяется в зависимости от размеров и эффективности их улавливания разделено на пять классов (таблица 1) [2].

Таблица 1 – классификация пылеуловителей

Класс аппарата	Размер эффективно улавливаемых частиц, мкм	Эффективность по массе пыли, при группе дисперсности пыли				
		I	II	III	IV	V
I	более 0,3-0,5	-	-	-	99,9-80	<80
II	более 2	-	-	99,9-92	92-45	-
III	более 4	-	99,9-99	99-80	-	-
IV	более 8	>99,9	99-95	-	-	-
V	более 20	>99	-	-	-	-

Подробнее остановимся на физических аппаратах сухой пылеочистки использующих в качестве сторонних действующих сил силы гравитации и инерции, а также центробежную силу.

1.1.1 Пылеосадительные камеры

Пылеосадитель – простейшее пылеулавливающее устройство принцип действия, которого основан на осаждении частиц под действием силы тяжести. Чаще всего пылеосадительные камеры используют в качестве первой ступени очистки, то есть улавливания наиболее крупных частиц что приводит к снижению нагрузки на последующие ступени. Одна из схем пылеосадительной установки приведена на рисунке 1.

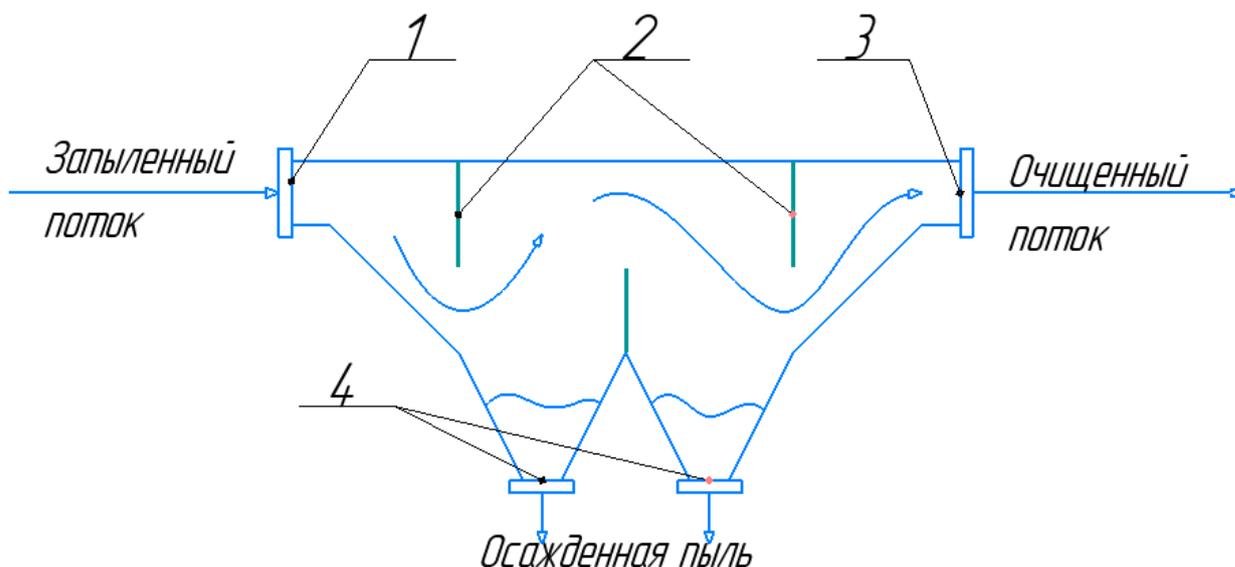


Рисунок 1. Схема пылеосадительной установки

1 – входной патрубок; 2 – отбойные перегородки; 3 – выхлопной патрубок; 4 – шиберы.

Главным ограничением в использовании пылеосадительных камер является ограничение по скорости. При скорости выше допустимой проскок частиц будет сильно увеличиваться что приведет к бесполезности аппарата. В зависимости от группы дисперсности пыли, а также от ее плотности и формы рекомендуемая скорость газа может варьироваться от 1 до 7,5м/с.

Для эффективной очистки частицам для осаждения необходимо пройти путь равный высоте камеры, что влечет за собой громоздкость и большой вес конструкции.

1.1.2 Жалюзийные пылеуловители

Жалюзийные пылеуловители так же, как и пылесодительные камеры используются для первоначальной (грубой) очистки газов, не смотря на то что улавливают более мелкие частицы с диаметром не менее 30-40мкм. Способность улавливать частицы такого размера дает возможность использовать жалюзийные аппараты в качестве первой ступени золоуловителя. Пример схемы жалюзийного золоуловителя представлен на рисунке 2. Принцип действия основан на прохождении запыленного газа по газоходу с установленными в нем пластинами. Газ огибая пластины частично избавляясь от пыли продолжает двигаться в направлении выхлопного патрубка. Меньшая часть газа, обогащённая пылью отправляется в другой газоход, который чаще всего подведен к циклону для отделения дисперсной части.

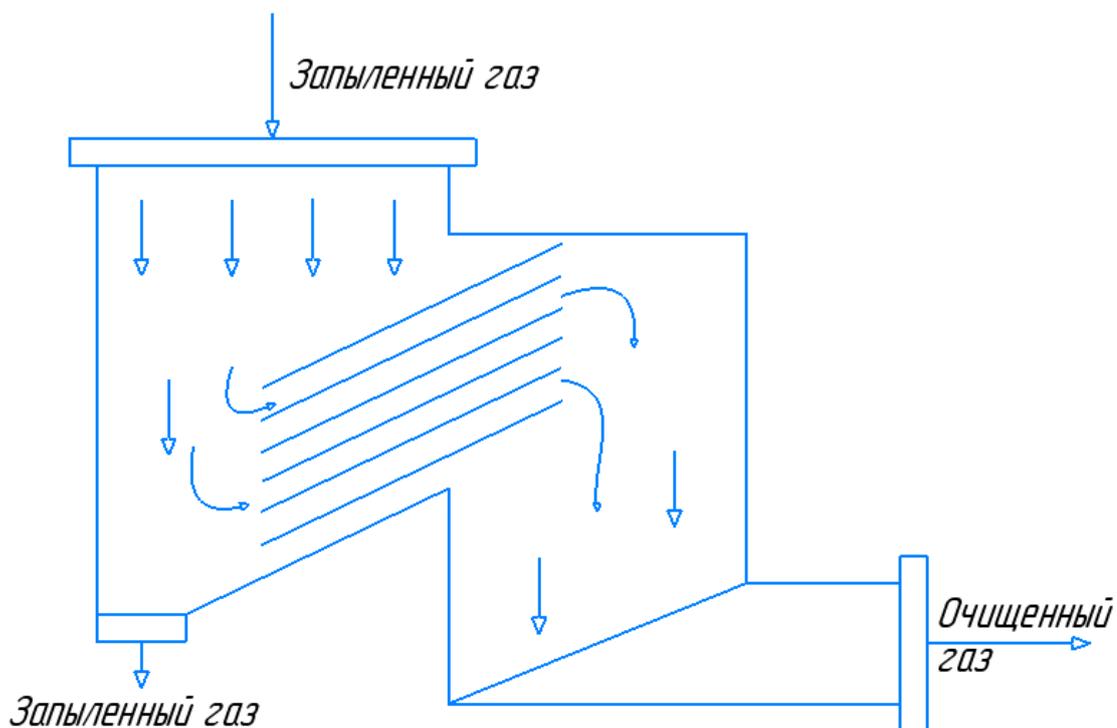


Рисунок 2. Схема жалюзийного пылеуловителя

В основе работы этого типа пылеуловителей лежит инерционно-отражательный принцип. То есть частицы покидают поток при крутом повороте газа в жалюзийной решетке, а также при отражении частиц о элементы решетки. Эффективность улавливания частиц напрямую зависит от эффективности решетки и доли газа, удаляемого вместе с уловленной пылью.

1.1.3 Инерционные пылеуловители

Инерционные пылеуловители являются более усовершенствованной и модернизированной версией пылесадительных камер. Они имеют большую эффективность при меньших размерах при сравнимых капитальных и эксплуатационных затратах. На рисунке 3, а, б, в показаны самые распространенные и эффективные схемы инерционных пылеуловителей.

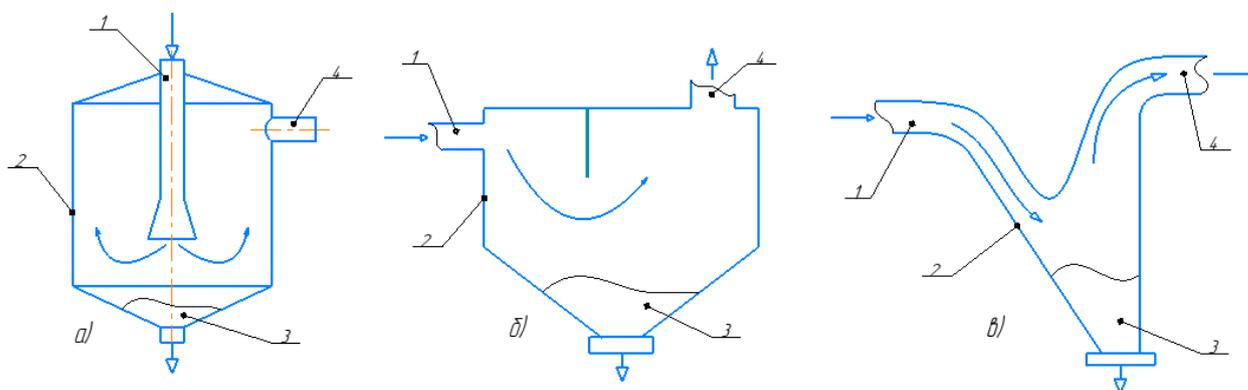


Рисунок 3а – пылевой мешок с центральным подводом газа; б – пылесадитель с отражательной перегородкой; в – пылесадитель встраиваемый в газопровод

1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – пылесборник; 4 – выходной патрубок

В основе работы этих аппаратов лежит резкое изменение направления движения потока. Например, в пылевом мешке поток движется вертикально вниз, затем меняет направление движения на 180 градусов и проходит через кольцевой зазор. Уловленная пыль сыпается в пылесборник. В сравнении с простыми пылесадительными камерами скорость потока в этих аппаратах выше (около 10м/с на входе и 1м/с на выходе), главным недостатком является большое гидравлическое сопротивление.

1.1.4 Ротационные пылеуловители

Ротационные пылеуловители чаще всего относят к аппаратам полутонкой очистки газов, при эффективной очистки газов от частиц размерами более 10мкм. Принцип действия основан на воздействии центробежной силы при вращении колеса. Они имеют большое количество преимуществ в сравнении с вышеперечисленными аппаратами. Они очень компактны это объясняется тем что вентилятор и сепаратор частиц совмещены в одном агрегате, и довольно эффективны, однако сложны в изготовлении имеют большую стоимость и большие эксплуатационные затраты. Зачастую такие аппараты используют в системах золоулавливания. Схема центробежного ротационного золоуловителя представлена на рисунке 4.

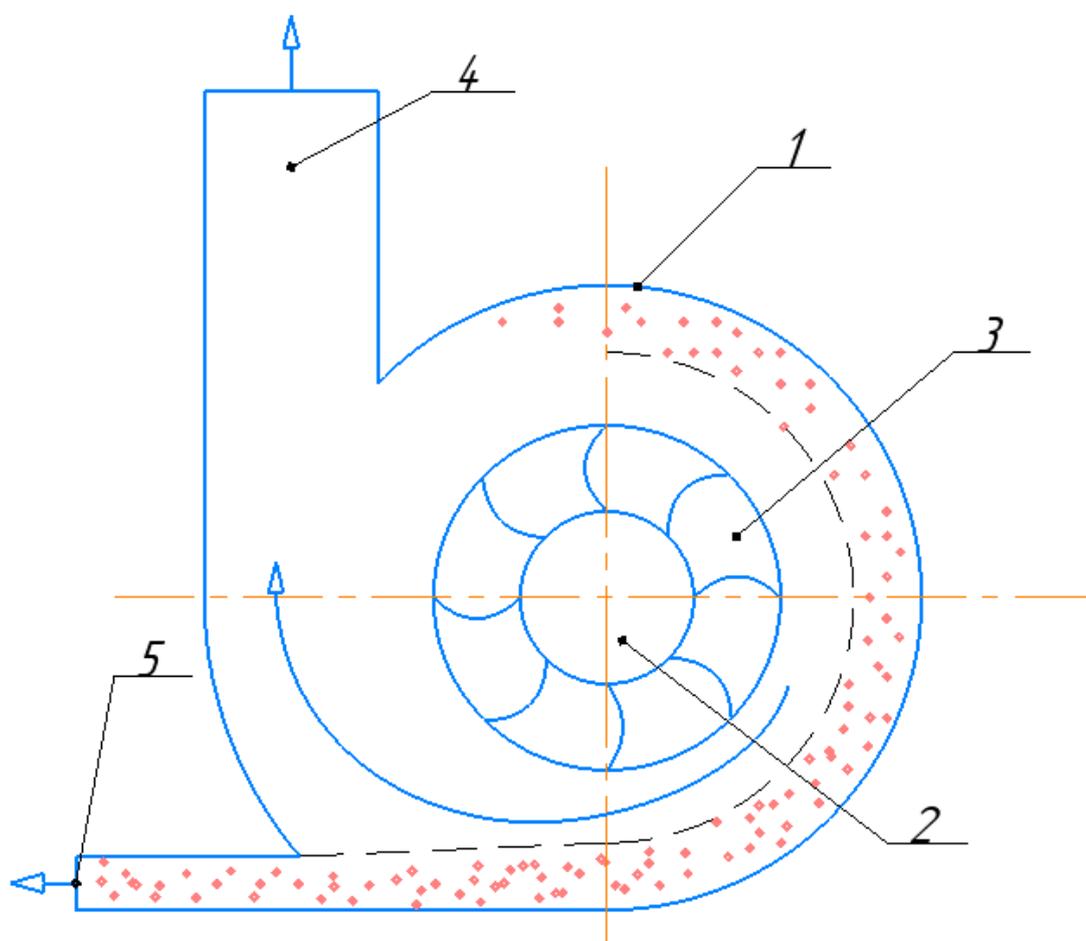


Рисунок 4. Схема центробежного пылеуловителя

1 – спиралевидный кожух; 2 – входной патрубок; 3 – рабочее колесо; 4 – выхлопной патрубок; 5 – пыле-приёмный патрубок

В конструкции центробежных пылеуловителей ротационного действия главными элементами являются спиралеобразный кожух и рабочее колесо. Загрязненный воздух подается через входной патрубок и приводится во вращение рабочим колесом, при этом под действием центробежной силы и силы Кориолиса пыль, находящаяся в газе, отбрасывается к стенкам, по которым движется с частью газа к пыле-отводящему патрубку.

1.1.5 Циклонные аппараты

Циклонные аппараты (циклоны) наиболее распространены во всех сферах производства. Они имеют идеальное соотношение стоимости и эффективности. Циклоны очень просты в использовании и способны улавливать фракции пыли размером около 15мкм, что зачастую является достаточным.

Сепарация частиц в циклоне основана на воздействии центробежных сил на частицы. Центробежные силы возникают при вращении газового потока внутри корпуса циклона. Поток начинает вращаться внутри аппарата за счет тангенциального введения его в циклон, в редких случаях используется завихритель. Зачастую в системах пылеочистки циклонные аппараты являются второй ступенью очистки потока газа с концентрированным содержанием пыли. Первой ступенью иногда выступают вихревые разгрузители – концентраторы, принцип работы которых аналогичен принципу работы циклонных аппаратов. Схема циклона представлена на рисунке 5.

Запыленный поток воздуха поступает через входной патрубок и начинает раскручиваться за счет тангенциального введения потока, частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам циклона и начинают упорядоченно двигаться в сторону пылевыпускного отверстия 5, уже очищенный воздух разворачивается на 180 градусов и движется по центральной части потока к выхлопному патрубку 7, откуда поступает в систему воздуховодов.

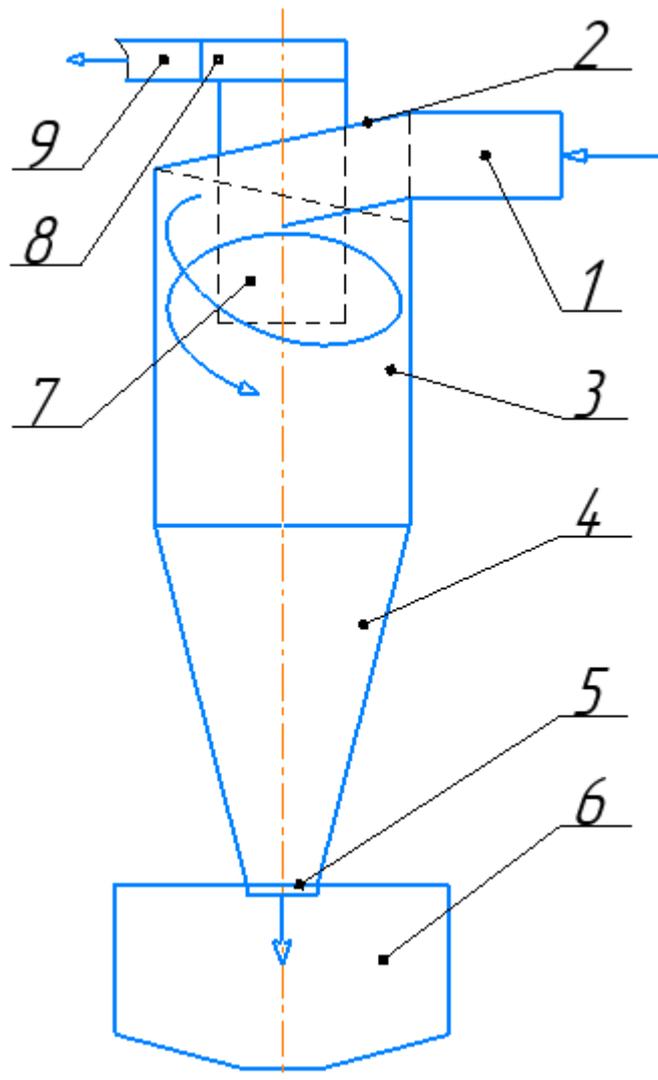


Рисунок 5. Схема циклона

1 – входной патрубок; 2 – наклонная крышка; 3 – цилиндрическая часть корпуса;
 4 – коническая часть корпуса; 5 – пылевывпускное отверстие; 6 – пылесборник; 7 –
 выхлопной патрубок; 8 – раскручивающая улитка; 9 – выходной патрубок

Так как циклоны нашли широкое применение повсеместно, на сегодняшний день множество компаний занимается производством циклонов, такие как НИИОгаз (Научно-исследовательский институт очистки газов, г. Москва), ЛИОТ (Ленинградский институт охраны труда) и СИОТ (Свердловский институт охраны труда) и т.д.. Однако большим плюсом циклонов является то что их можно изготовить на не специализированных производствах, и они не будут уступать заводским в эффективности.

Выбор типа и размера циклона производится в зависимости от заданного расхода воздуха, дисперсных свойств пыли, требуемой степени

очистки, требуемых габаритов установки, эксплуатационной надежности и располагаемых финансов. Наиболее распространенной проблемой при эксплуатации циклонов является истирание стенок дисперсным потоком. Поэтому для улавливания крупных частиц и твердой пыли рекомендуется использовать циклоны, изготовленные из сталей высокой твердости.

Циклоны маленького размера зачастую обеспечивают большую эффективность в сравнении с крупногабаритными, поэтому производства с необходимостью высокоэффективной очистки больших объемов запыленного газа используют батарейные циклоны (мультициклоны). Батарейный циклон представляет собой большое количество одиночных циклонов, соединенных параллельно. Все циклоны мультициклона соединены в один корпус с общим подводом и отводом потоков.

1.2 Физические основы осаждения пыли в аппаратах сухой инерционной очистки

Основным достоинством инерционных аппаратов перед остальными группами, представленными в п. 1.1 является простота и дешевизна, а также возможность их изготовления на не специализированных производствах. Очистку воздуха с помощью инерционных аппаратов применяют для воздушного потока, запыленного частицами размером 25-30мкм, осаждение в поле силы тяжести избавляет от частиц размером 30-100мкм, наиболее эффективные аппараты использующие центробежную силу способны улавливать тонкую пыль до 5мкм.

С момента начала движения частицы в воздухе, то есть в вязкой среде так же, как и в водной возникает сила сопротивления этому движению F_c , которая в соответствии с законом Ньютона выражается следующим образом:

$$F_c = c_x F_q \frac{\rho_s w_o^2}{2}, \quad H \quad (1.1)$$

где w_o^2 - относительная скорость частицы и потока в котором она движется, м/с;

ρ_2 - плотность газа в котором движется частица, кг/м³;

$F_ч$ - площадь сечения частицы, перпендикулярная к направлению движения;

C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления.

Допустим, что частицы пыли являются сферическими, тогда для сферических частиц $C_x = f(Re)$:

$$Re = \frac{w_o d_r}{\nu_2} = \frac{w_o d_ч \rho_2}{\mu_2} . \quad (1.2)$$

Для области ламинарного обтекания $Re \leq 2$:

$$C_x = \frac{24}{Re} . \quad (1.3)$$

Для переходного режима $2 < Re \leq 500$:

$$C_x = \frac{18,5}{Re^{0,6}} .$$

Для турбулентного режима $Re > 500$:

$$C_x = 0,44 .$$

В пределах значений $Re \leq 400$ можно пользоваться формулой

$$C_x = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{Re^{0,667}}{6} \right) .$$

Выражение (1.1) с учетом (1.2) и (1.3) (при ламинарном обтекании) принимает вид:

$$F = \frac{24\mu_2}{w_o d_ч \rho_2} * \frac{\pi d_ч^2}{4} * \frac{\rho_2 w_o^2}{2} = 3\pi d_ч \mu_2 w_o . \quad (1.4)$$

При осаждении частицы на нее действуют сила тяжести F_g и выталкивающая сила F_a :

$$F_g = mg = \rho_ч V_ч g = \rho_ч \frac{\pi d_ч^3}{6} g , \quad (1.5)$$

$$F_a = m_2 g = \rho_2 \frac{\pi d_ч^3}{6} g . \quad (1.6)$$

Частица находится в равновесии при условии:

$$F_g - F_a - F_c = 0$$

Объединяя (1.4), (1.5), и (1.6) получаем:

$$3\pi d_q \mu_z w_o = (\rho_q - \rho_z) \frac{\pi d_q^3}{6} g,$$

откуда

$$w_o = \frac{d_q^2 (\rho_q - \rho_z) g}{18\mu_z}, \quad (1.7)$$

где w_o – скорость витания частицы – скорость направленного вверх вертикального потока газа, при которой данная частица будет удерживаться в занимаемом ею положении.

Решая уравнение (1.7) относительно d_q , получаем:

$$d_q = \sqrt{\frac{18\mu_z w_o}{(\rho_q - \rho_z) g}}$$

Полученное выражение показывает, что при постоянной плотности ρ_z и вязкости среды μ каждой скорости витания соответствует свой размер частицы.

1.3 Оценка эффективности систем обеспыливания воздуха

Основным показателем, характеризующим эффективность работы любых аппаратов по очистке газов от дисперсных примесей, является коэффициент очистки, % [12]:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{M_{ул}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{вх} - M_{вых}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{ул}}{M_{ул} + M_{вых}} \cdot 100 = \\ &= \frac{c_{вх} Q_{вх} - c_{вых} Q_{вых}}{c_{вх} Q_{вх}} \cdot 100, \end{aligned} \quad (1.8)$$

где $M_{вх}$ – общая масса частиц, содержащихся в газах на входе в аппарат, $M_{ул}$ – общая масса частиц, уловленных в аппарате, $M_{вых}$ – общая масса частиц, содержащихся на выходе из аппарата; $c_{вх}$, $c_{вых}$ – средние концентрации частиц

в газах на входе и на выходе из аппарата соответственно; $Q_{\text{вх}}$, $Q_{\text{вых}}$ – расход газов, поступающих в аппарат и выходящих из него.

Если $Q_{\text{вх}}=Q_{\text{вых}}$, что имеет место при абсолютной герметизации установки, то есть отсутствии присосов воздуха или утечке газов из аппарата, а также сильного увлажнения газов, то справедливо соотношение:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{\text{вых}}}{c_{\text{вх}}}\right) \cdot 100\%. \quad (1.9)$$

В тех случаях, когда необходимо оценить конечную запыленность или сравнить относительную запыленность газов на выходе из различных аппаратов, удобно пользоваться коэффициентом проскока (%), который связан с коэффициентом очистки соотношением [12]:

$$\varepsilon = 100 - \eta. \quad (1.10)$$

Каждая пылеулавливающая установка так же, как и золоулавливающая в зависимости от условий ее эксплуатации и от дисперсного состава загрязнения может выдавать эффективность, характеризуемую значением коэффициентов очистки [1].

Уровень совершенства любого пылеочистительного аппарата характеризуют достигаемые с его помощью фракционные или парциальные коэффициенты очистки при оптимальных по технико-экономическим соображениям условиях эксплуатации.

Фракционный коэффициент — это отношение количества пыли данной фракции, уловленной в аппарате, к количеству пыли этой же фракции, на входе в аппарат.

Парциальный коэффициент это отношению количества частиц данного размера, уловленных в аппарате, к количеству частиц этого размера поданной в аппарат:

$$\eta = \frac{M_{\text{Фул}}}{M_{\text{Фвх}}} = \frac{M_{\text{ул}} \cdot \Phi_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}} \cdot \Phi_{\text{вх}}} = \eta \cdot \frac{\Phi_{\text{ул}}}{\Phi_{\text{вх}}}, \quad (1.11)$$

$$\eta = \frac{M_{N_{\text{ул}}}}{M_{N_{\text{вх}}}} = \frac{M_{\text{ул}} \cdot N_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}} \cdot N_{\text{вх}}} = \eta \frac{N_{\text{ул}}}{N_{\text{вх}}}, \quad (1.12)$$

Обычно эти коэффициенты определяются экспериментально для каждой установки индивидуально, путем проведения соответствующих испытаний аппаратов. Полный коэффициент очистки может быть представлен в зависимости от фракционного (парциального) состава золы или пыли, входящей в аппарат, и от фракционного (парциального) коэффициента очистки:

$$\eta = \sum \eta_{\Phi} \frac{\Phi_{\text{ВХ}}}{100}; \quad (1.13)$$

$$\eta = \sum \eta_{\Pi} \frac{N_{\text{ВХ}}}{100} \cdot \Delta d_{\text{ч}}; \quad (1.14)$$

При подстановке в формулу (1.11) необходимо, чтобы интервалы размеров частиц для фракционного состава золы или пыли и для фракционных коэффициентов очистки совпадали. Суммы $\Phi_{\text{ВХ}}$ в формуле (1.12) и $N_{\text{ВХ}} \Delta d_{\text{ч}}$ в формуле (1.13) должны каждая составлять 100%. Формула (1.14) может быть записана более точно [12]:

$$\eta = \int_0^{\infty} \eta_{\Pi} \frac{N_{\text{ВХ}}}{100} \cdot \Delta d_{\text{ч}}; \quad (1.15)$$

Если построить графическую зависимость $\eta_{\Pi}=f(d_{\text{ч}})$ в вероятностно-логарифмической системе координат, в некоторых случаях этот график приобретает вид прямой линии, что свидетельствует о том, что она может быть записана в виде интеграла вероятности [12]:

$$\eta_{\Pi} = \int_{-\infty}^{\lg d_{\text{ч}}/d_{50}} \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_{\eta}} e^{-\frac{\lg^2 d_{\text{ч}}}{\lg^2 \sigma_{\eta}}} \cdot d \left(\frac{\lg d_{\text{ч}}}{d_{50}} \right), \quad (1.16)$$

где $\lg d_{\text{ч}}/d_{50}$ — логарифм отношения текущего размера частиц $d_{\text{ч}}$ к диаметру частиц d_{50} , осаждаемых с эффективностью 50%, $\lg \sigma_{\eta}$ — стандартное отклонение в функции распределения парциальных коэффициентов очистки. Значение d_{50} является точкой пересечения графика $\eta_{\Pi}=f(d_{\text{ч}})$ с осью абсцисс, а $\lg \sigma_{\eta}$ находят из соотношения:

$$\lg \sigma_{\eta} = \lg d_{84,1} - \lg d_{50}, \quad (1.17)$$

где $d_{84,1}$ - значение абсциссы, ордината которой равна 84,1%. Если распределение подлежащих улавливанию частиц по размерам является логарифмически-нормальным, а зависимость $\eta_{\text{п}}=f(d_{\text{ч}})$ может быть записана в виде интеграла вероятности, то значение полного коэффициента очистки можно найти по формуле [12]:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dx = \Phi(x), \quad (1.18)$$

где, $x = \frac{\lg d_m/d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}}}$, а d_m , $\lg \sigma_{\eta}$, d_{50} , $\lg \sigma_{\text{ч}}$ - параметры, полностью

характеризующие дисперсный состав частиц и зависимость $\eta_{\text{п}}=f(d_{\text{ч}})$ для данного аппарата. Дабы избежать громоздких и трудоемких вычислений с использованием вышеприведенных формул, можно воспользоваться номограммой (рисунок 6) [2], на которой сплошные линии соответствуют постоянным значениям η для различных значений $\lg \sigma_{\text{ч}}/ \lg \sigma_{\eta}$ и $\frac{\lg d_{50}/d_m}{\lg \sigma_{\text{ч}}}$, отложенных по осям координат. Пунктирные линии соответствуют постоянным значениям η для второго аппарата в случае последовательной установки двух одинаковых аппаратов. Для возможности применения формул (1.13) - (1.15) и (1.18), а также рассмотренной номограммы необходимо, чтобы основные условия, для которых найдены значения фракционных или парциальных коэффициентов очистки, совпадали с условиями эксплуатации аппарата, для которых определяется значение полного коэффициента очистки. Это доказывает необходимость большого количества экспериментальных исследований для каждого аппарата в частности.

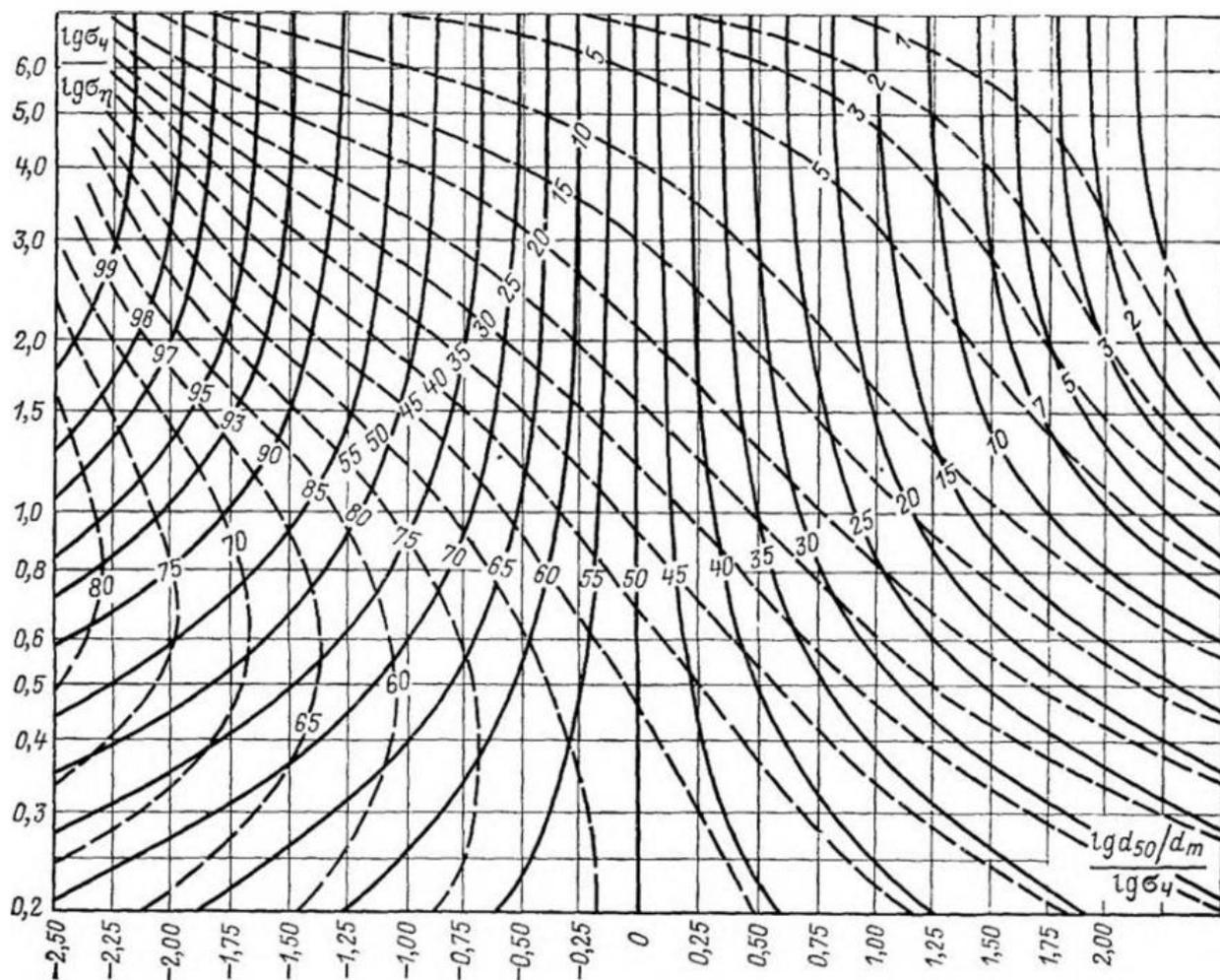


Рисунок 6. Номограмма для определения значения полного коэффициента очистки газа от дисперсной примеси

1.4 Обзор отдельных проектов по исследованию инерционных аппаратов

В настоящее время нет единого мнения какая форма циклона наиболее эффективна. Однако в последнее время при исследовании и создании современных циклонов все четче прослеживается тенденция использования конусной части. При тангенциальном втекании струи в циклон образуется парный вихрь, который сливается с вторичными токами в верхней части аппарата. Парный вихрь образуется потому что скорость газа уменьшается по мере удаления от оси вращения, что вызывает возрастание давления. Наибольшее давление наблюдается в слоях воздуха, прилегающих к внешней границе потока. Из-за разницы давлений воздух перетекает в сторону низких

давлений, при этом образуется вторичный поток (парный вихрь). Верхняя часть вторичного вихря устремляется по кратчайшему пути к выхлопному патрубку, в то время как нижняя распространяется вдоль образующих циклона, формируя восходящий поток циклона [3].

Эффективность циклонных аппаратов по большей части зависит от вторичных токов. Верхняя ветвь вихря может служить путем для выноса дисперсного материала в выхлопную трубу вместе с чистым воздухом, что категорически недопустимо. Для ослабления этого эффекта было предложено увеличить глубину погружения выхлопного патрубка. Однако исследования показали, что при слишком глубоком погружении выхлопного патрубка эффективность вновь падает. Натурные испытания были проведены для различной глубины погружения выхлопного патрубка, при этом сам циклон был выполнен в форме обратного конуса без цилиндрической части. Экспериментальная установка представлена на рисунке 7 [3].

Не смотря на сложность конструкции данное исследование не оправдало ожидания. Так, эффективность данного аппарата при размере частиц дисперсного материала 40мкм не превышает 70%, что является совершенно неудовлетворительным результатом. Однако в данном исследовании доказана зависимость коэффициента полезного действия (КПД) аппарата от глубины погружения выхлопного патрубка при использовании циклона с обратным конусом. Однако мы проверим эту зависимость при использовании противоточного цилиндрического вихревого разгрузителя-концентратора. Так же в этой статье проведен анализ зависимости КПД от размера и плотности частицы, аналогичных опытных испытаний достаточное количество, и проводить их уже не имеет смысла.

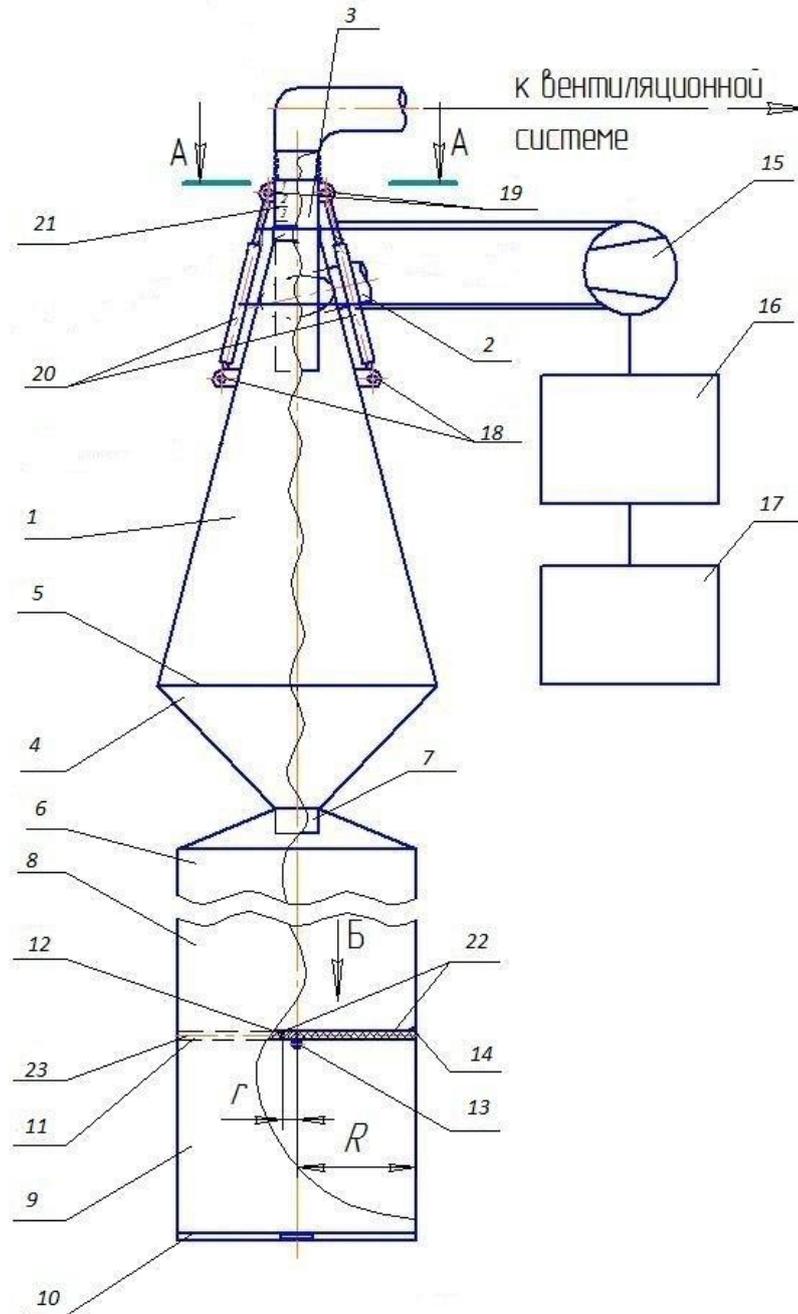


Рисунок 7. Схема циклонного аппарата с обратным конусом

1 - верхний конус циклона; 2 - входной патрубок; 3 - выхлопной патрубок; 4 - нижний конус циклона; 5 - основания конусов; 6 - пылесборник; 7 - патрубок; 8 - верхний отсек пылесборника; 9 - нижний отсек пылесборника; 10 - задвижка; 11 - перегородка; 12 - полукруглые люки; 13 - противовесы; 14 - ось, относительно которой вращается перегородка; 15 - нагнетательное устройство; 16 - блок управления; 17 - источник питания; 18 - кольцевой упор; 19 - проушины; 20 - основания пневмоцилиндров; 21 - выдвижные штоки пневмоцилиндров; 22 - шкала с делениями; 23 - кольцевой упор

Еще одним интересным исследованием является исследование вихревого разгрузителя-концентратора. А именно исследование зависимости эффективности сепарации частиц в зависимости от отводимого с пылеконцентратом воздуха. Чаще всего воздух, насыщенный дисперсной составляющей потока, направляется в выносной циклон, где и происходит полное отделение пыли. А воздух возвращается в систему. Есть некоторые опытные данные по данному способу усовершенствования вихревого разгрузителя-концентратора. Например, при использовании цемента с радиальным диаметром частиц 25-28мкм наиболее эффективным стало количество воздуха, отводимого вместе с концентратом около 15%. Однако в другом лабораторном испытании при использовании древесной пыли и стружки с размером частиц 80-250мкм достаточный процент отводимого воздуха составил 11%, что еще раз доказывает необходимость лабораторных испытаний каждого аппарата с каждым дисперсным составом. На работу инерционных аппаратов оказывает огромное влияние все внешние факторы, такие как температура, влажность воздуха, атмосферное давление. Исходя из чего, мы еще раз убеждаемся в актуальности данной тематики.

В одной из работ было предложено использование рельефных стенок в циклоне. Конструктивные особенности аппаратов с рельефными являются одними из наиболее интересных и мало изученных конструктивных решений. Одним из актуальных направлений современной гидродинамики и теплофизики является вихревая и струйная организация, а также самоорганизация на поверхностях траншейных покрытий в виде каверн, вихревых ячеек, которая позволяет существенно повысить эффективность теплообмена и снизить аэродинамическое сопротивление при обтекании таких поверхностей и предложить новые технические решения установок и аппаратов. Достаточно скудная информация по новым техническим способам и конструкциям пылеулавливающих устройств, использующим нетрадиционные решения, включающие в себя установку

внутренних рельефных поверхностей с отрывными зонами, дает право рассматривать предложенные решения направлением дальнейших экспериментальных и модельных исследований с целью понимания физического механизма вихревой интенсификации, управления и оптимизации процессов в сепарационных и пылеуловительных установках. В одной из немногих монографий, посвященных применению рельефных стенок в инерционных аппаратах, была разработана методика расчета, а также проведены лабораторные испытания. Результат данного исследования оказался положительным, особенно для циклонов малого диаметра. Так, эффективность пылеулавливания циклона диаметром 250 мм одинаковых энергозатратах и одинаковым составом загрязняющего вещества показали, что в процессе пылеулавливания с использованием последовательной компоновки циклона с рельефными поверхностями (рисунок 8а) можно достичь большей эффективности и очитки вплоть до 99,93 %, при тех же условиях традиционным циклоном мы достигаем эффективности – 99,7 %. В качестве дисперсного вещества при данном исследовании выступала угольная пыль со средним медиальным размером 36мкм, и плотностью 661-607 кг/м³ [7]. Помимо большей эффективности гидравлическое сопротивление циклона с рельефными стенками вдвое меньше гидравлического сопротивления классического циклона.

К сожалению лабораторное исследование циклонов с различными рифлениями стенки очень финансово и ресурсо-затратно. Поэтому невозможно должным образом изучить поведение потоков и эффективность циклонов с внутренними рифлениями стенок. Циклоны с внутренним рифлением стенок тяжелы в изготовлении и способны терять свои свойства со временем за счет истирания рельефа постоянным потоком дисперсного материала. Несмотря на все эти трудности циклонные аппараты такого типа нуждаются в более подробном изучении и внедрении в производства.

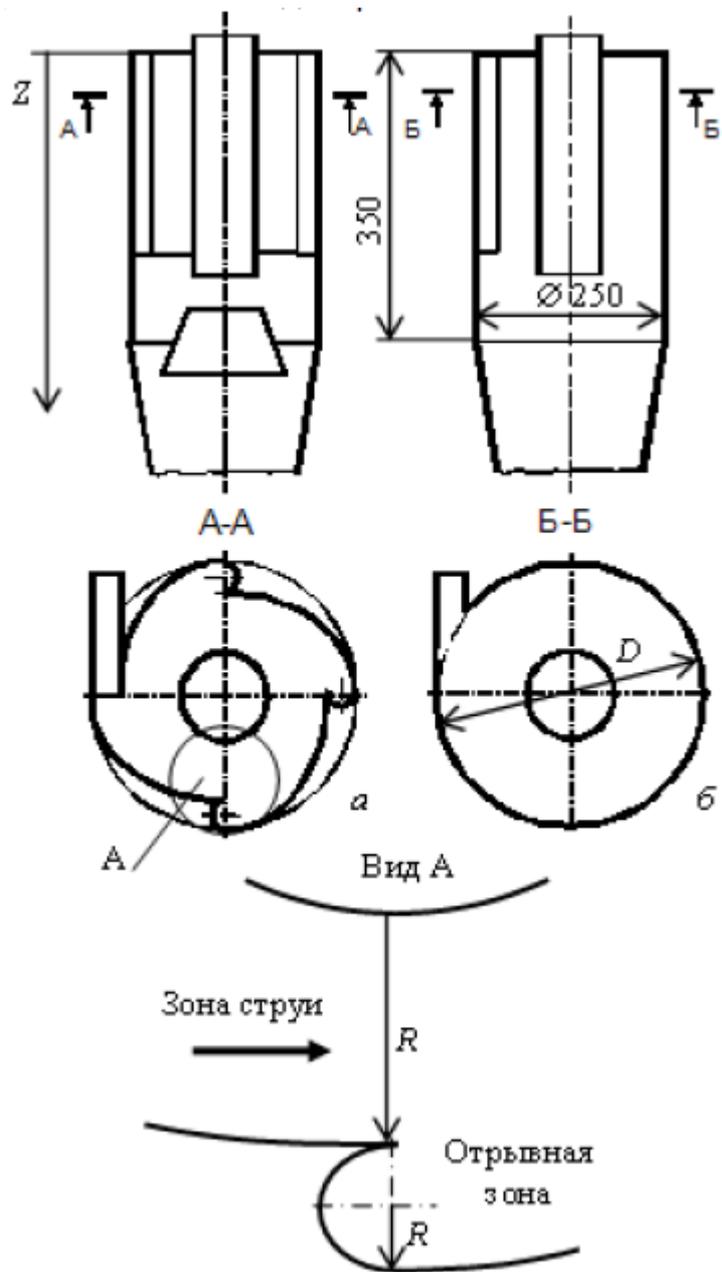


Рисунок 8. Схемы пылеуловителей

а – циклон с внутренним рифлением стенки; б – классический циклон

2 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Постановка задачи исследования

Основываясь на работах, представленных в предыдущем пункте, было решено провести эксперимент по выявлению зависимости эффективности циклонного аппарата от наличия местного сопротивления для дополнительного подкручивания потока в целях увеличения действия центробежной силы. В качестве местного сопротивления было решено использовать стационарные лопатки, установленные на наружной поверхности выхлопного патрубка, «встречающие» запыленный поток, вводимый тангенциально. В качестве загрязняющего вещества был использован цемент марки М400.

Основной задачей исследования является разработка рекомендаций по использованию и дальнейшему исследованию циклонных аппаратов в качестве воздухоочистителей.

2.2 Описание установки и проведенных опытов

Для проведения данного исследования был использован лабораторный стенд, схема которого представлена в графическом приложении. Данная установка имеет три ступени пылеочистки:

В качестве первой ступени был использован противоточный пылеконцентратор изображенный на рисунке 9. Суть работы пылеконцентратора заключается в обогащении потока газа загрязняющим материалом за счет сепарации части газа. Запыленный газ поступает через входной патрубок тангенциально, раскручиваясь движется вдоль аппарата, при этом дисперсный материал за счет центробежной силы отбрасывается к стенкам пылеконцентратора при этом образуется два потока: один, обогащенный пылью движется по периферии аппарата, в конце которого имеется патрубок для отвода высококонцентрированного газа в

дополнительный пылеотделитель (выносной циклон); второй поток движется параллельно первому, но ближе к оси вращения потока, достигая боковой стенки поток разворачивается на 180° по горизонтальной оси и движется в сторону выхлопного патрубка, откуда подается в рукавный фильтр. То есть процессы сепарации и отвода пыли в противоточном пылеконцентраторе конструктивно разделены. На рисунке 9 сплошными тонкими линиями показано направление движение потоков.

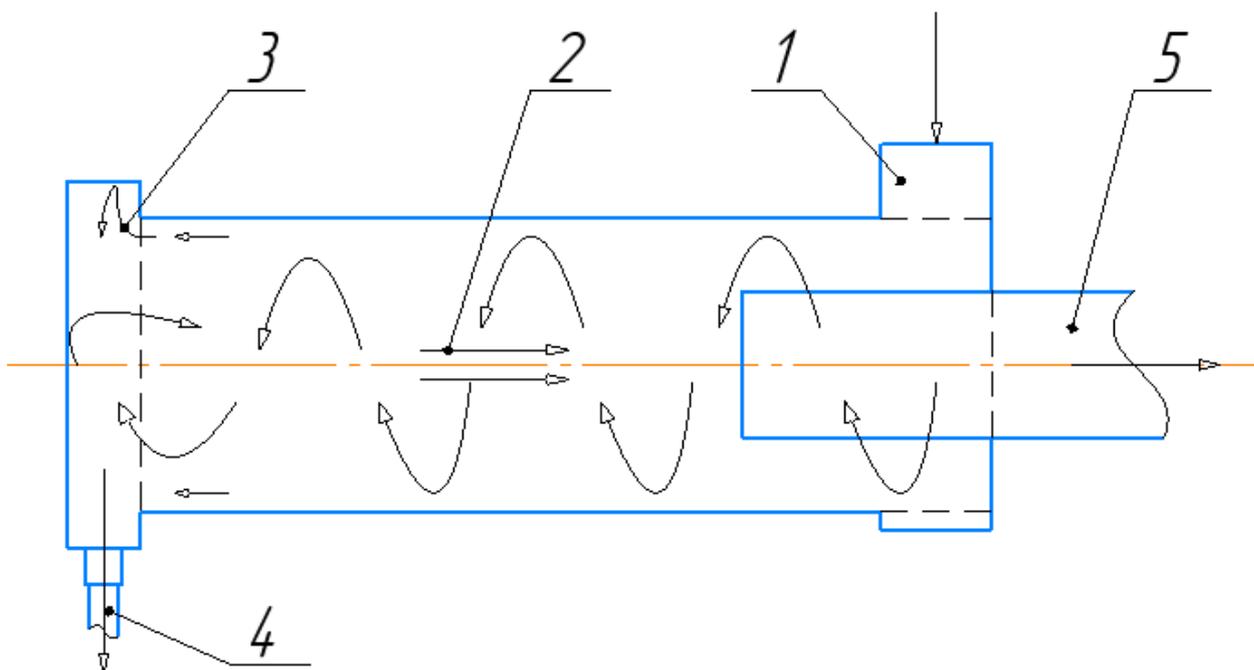


Рисунок 9. Схема противоточного концентратора

1 – входной патрубок; 2 – направление движения очищенного газа; 3 – направление движение газа обогащенного дисперсным материалом; 4 – отвод запыленного газа в выносной циклон; 5 – выхлопной патрубок

В ходе выполнения бакалаврской выпускной квалификационной работы была выявлена оптимальная глубина погружения выхлопного патрубка которая составила 80% от рабочей длины противоточного концентратора, в связи с чем в ходе выполнения данной работы был использован данный параметр для достижения максимального коэффициента полезного действия установки.

Скорость потока воздуха на входе в установку была измерена с помощью дифференциального манометра «Testo-512» подключенного к

расходомеру во впускном патрубке с внутренним диаметром 36мм, была измерена скорость входного потока, значение которой колебалось в пределах 18-19м/с. Этот тип манометра позволяет оценивать перепад между статическим и полным давлением, а также измерять скорость потока из полученных данных.

В качестве второй ступени очистки воздуха был использован выносной противоточный циклонный аппарат, изображенный на рисунке 10. Противоточный циклон является наиболее эффективным осадителем дисперсных частиц. Его принцип работы схож с принципом работы концентратора, за исключением того, что в циклоне имеется собственный приемник пыли, в котором, транспортирующий в него пыль поток газа, замедляет свое движение и формирует слой из частиц. Современные противоточные вихревой пыле концентратор и циклон способны показывать высокую эффективность даже при улове частиц около 10мкм.

В противоточном циклоне основная часть взвешенных в газе частиц отбрасывается к стенке циклона, собираясь в своеобразные жгуты дисперсный материал упорядоченно движется вниз по конусовидной стенке. Проходя через пылевыхпускное отверстие поток воздуха поступает в бункер где теряет скорость и меняет свое направление, за счет чего движущиеся в потоке частицы за счет силы инерции выпадают в бункере, а очищенный поток движется в сторону выхлопного патрубка. Клапан пылесборника 4 (рисунок 10) предназначен для сохранения давления в системе. Так как система работает под разрежением, любые отверстия в ней будут приводить к понижению скорости, а соответственно и снижению эффективности аппарата.

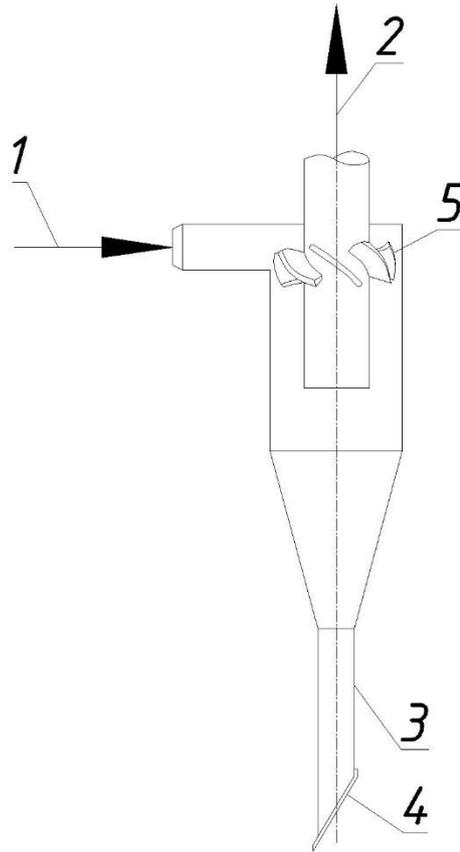


Рисунок 10. Схема противоточного циклона

1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – пылесборник; 4 – клапан пылесборника

В моей работе классическая конструкция циклона была изменена, а именно было добавлено дополнительное местное сопротивление в виде лопаток, направляющих запыленный поток на входе к стенкам циклона, а также придающих дополнительное подкручивание потока. Запыленный воздух вместе с частицами встречает на своем пути лопатку, отбрасывающую поток ближе к стенкам конуса. В этом случае частицы имеющие меньшую массу будут отброшены в своеобразные косы пыли движущиеся по стенкам к пылесборнику.

Третьей ступенью очистки воздуха на нашем экспериментальном стенде является рукавный фильтр (рисунок 11), он предназначен для задержания материала не уловленного в пылеконцентраторе и выносном циклоне.

Тканевый фильтр является наиболее чувствительным элементом системы, в стабильной его работе большую роль играют не только используемый метод и режим регенерации, но также способность ткани к регенерации. Способность ткани к регенерации характеризуется характером поверхности, гибкостью ткани и наличие специальной обработки фильтра. Основными причинами выхода из строя рукавных фильтров, а именно их разрывов, является повышенная гигроскопичность пылей либо высокая влажность среды.

Так же на рисунке 11 изображен центробежный вентилятор ВЦ, используемый для создания необходимого разряжения в системе. В исследовании использовался центробежный вентилятор производства НП ООО «Тайра» ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью 1000 м³/ч при разряжении 3000Па. В качестве газовой среды в опытах использовался воздух из аудитории с температурой 18-20 °С, и относительной влажностью 50%. Опыты проводились в помещении восемнадцатой аудитории четвертого корпуса НИ ТПУ. Основные параметры и аэродинамические характеристики вентилятора приведены в паспорте оборудования.

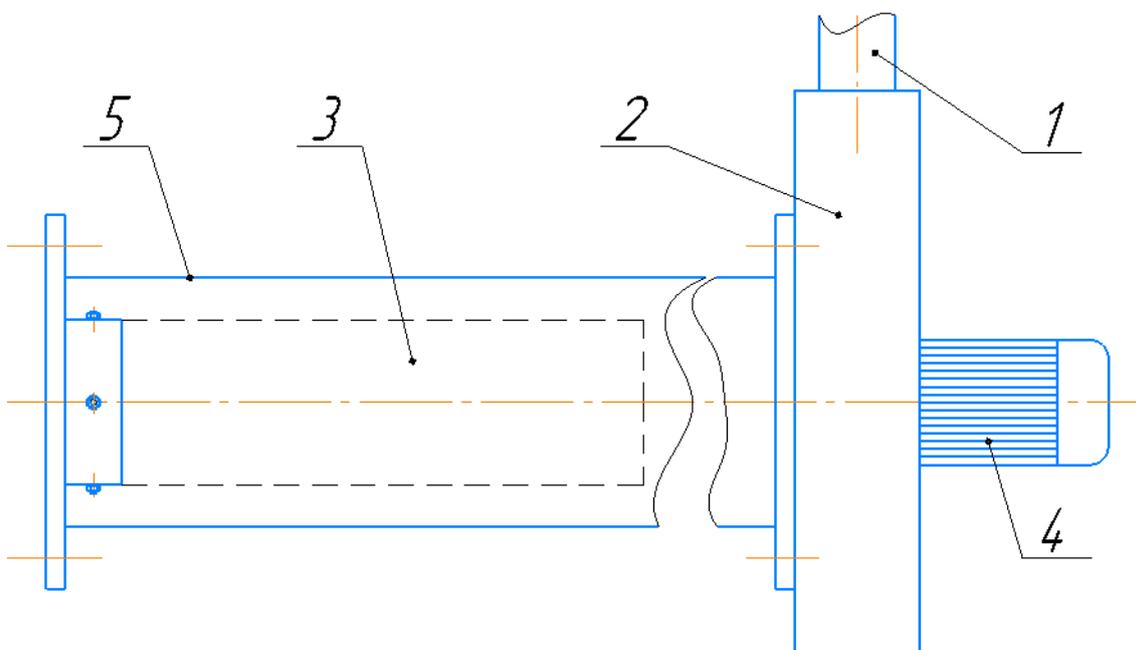


Рисунок 11. Схема рукавного фильтра и центробежного вентилятора

1 – выход очищенного воздуха в атмосферу; 2 – центробежный вентилятор; 3 – рукавный фильтр; 4 – электродвигатель; 5 – корпус рукавного фильтра

2.3 Обработка результатов

Исходными данными для проектирования устройств обеспыливания воздуха является информация о концентрации этой пыли, дисперсном составе, параметрах воздуха, свойствах частиц и т.д.. Способ получения этих сведений определяется условиями реализации проекта. Если для существующих производств разрабатывается система пылеочистки воздуха, то целесообразно использовать экспериментальные данные, поскольку существующие в настоящее время аналитические методы не совсем надежны, и не дают возможности установить необходимые значения с достаточной точностью. Однако для только разрабатываемых технологий метод теоретической оценки является единственным возможным.

Для проведения опытов был собран и настроен исследовательский стенд (графическое приложение). Который состоит из противоточного пылеконцентратора, выносного противоточного циклона измененной конструкции, рукавного фильтра и дутьевого вентилятора, создающего необходимый перепад давлений. В качестве тестовой пыли использовался цемент марки М-400 со средним размером частиц 24мкм, и плотностью 2900кг/м³. Принимая частицу пыли за сферу можно вычислить среднюю массу частицы пыли, использованную в исследовании:

$$m_{\text{ч}} = 1 \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R_{\text{ч}}^3 \cdot \rho_{\text{ч}}, \text{ кг}$$

$$m_{\text{ч}} = 1 \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot (24 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 2900 = 42 \cdot 10^{-9}, \text{ кг.}$$

2.3.1 Расчет эффективности пылеулавливания

Схема пыле концентратора, использованного в лабораторных испытаниях представлена на рисунке 12, где l – длина рабочей зоны пыле концентратора. Такая схема установки и глубина погружения выпускного патрубка выбрана для того чтобы сравнение изменения эффективности новой установки с установкой, использованной в предыдущей моей работе были максимально адекватно. Для снижения погрешности в данном исследовании

одной из целей было определение количества опытов в серии экспериментов, результаты которых при минимальных затратах средств и времени могут дать минимальную погрешность. При проведении экспериментальных исследований, во-первых, необходимо такое количество опытов, которое достаточно точно выявило бы кривые функциональных зависимостей; иначе говоря, следует определить такое минимальное количество опытных точек, которое хорошо представляло бы кривую, поэтому предполагаемый характер кривых функциональных зависимостей фактически и определяет количество опытов. При исследовании было выбрано число экспериментов пятнадцать, насколько данное количество экспериментов оптимально покажет определение погрешности в следующем пункте. Если погрешность составит менее 0,5% значит количество опытов выбрано верно и дальнейшее проведение опытов не целесообразно, так как увеличение количества опытов из-за большего объема вычислений приводит к большей погрешности вычислений, что может привести к ошибочному результату.

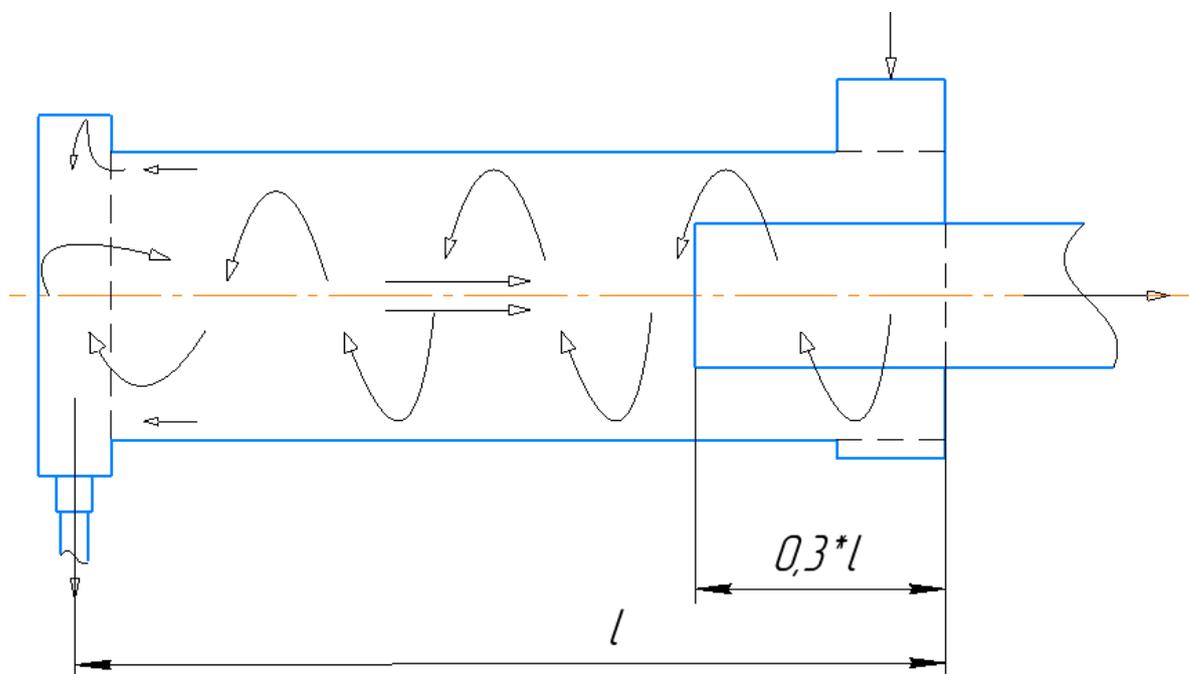


Рисунок 12. Схема противоточного концентратора с глубиной погружения 0,81

Таблица 2 – экспериментальные данные для расчета эффективности пылеулавливания схемы с циклоном с дополнительным местным сопротивлением для изменения траектории потока

№, п.п.	$D_{вх.}, м$	$d_{ч},$ МКМ	$m_{под}, Г$	$m_{улов}, Г$	$m_{улов}^{ср}, Г$	$m_{1ф}, Г$	$m_{1ф}^{ср}, Г$	$m_{2ф}, Г$	$m_{2ф}^{ср}, Г$	t, мин	$\Delta h,$ мм. вод. ст.
1	0,036	24	50	39,9	39,96	125,3	125,4	134,8	134,2	10	22
2				40,1		125,4		133,3			
3				40		125,5		135,1			
4				39,6		125,5		134,4			
5				39,7		125,4		134,1			
6				39,9		125,4		132,5			
7				40,2		125,5		133,2			
8				39,8		125,5		133,8			
9				39,8		125,4		134,9			
10				39,5		125,6		134,4			
11				40,8		125,4		133,1			
12				39,9		125,3		132,8			
13				40,3		125,3		132,2			
14				40,2		125,4		137,4			
15				39,7		125,5		136,6			

В таблице 2 представлены экспериментальные данные для расчета эффективности противоточного пыле концентратора: $D_{\text{вх.}}$ – диаметр входного патрубка, $d_{\text{ч}}$ – средний радиальный размер частиц дисперсного материала; $m_{\text{под}}$ – масса поданного материала; $m_{\text{улов}}$ – масса уловленного материала; $m_{1\text{ф}}$ – масса фильтра до начала опыта; $m_{2\text{ф}}$ – масса фильтра после окончания опыта; t – время проведение опыта; Δh – разряжение в системе.

Для уменьшения влияния окружающих факторов было принято решение проводить в день не более двух опытов для того, чтобы фильтр успевал принять температуру и влажность лаборатории после регенерации, а также было решено отменять проведение эксперимента при влажной погоде, для исключения влияния влажности на адекватность результатов.

Процесс расчета эффективности циклона со стационарными лопатками приведен ниже:

Массовый расход подаваемого материала:

$$Q_m = \frac{m_{\text{под}}}{t}, \text{ г/мин}; \quad (2.1)$$

$$Q_m = \frac{50}{10} = 5 \text{ г/мин} = 0,0833 \text{ г/с}.$$

Действительный перепад давления:

$$\Delta P = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \Delta h, \text{ Па}, \quad (2.2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды, кг/м^3 ;

$$\Delta P = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,022 = 215,6 \text{ Па}.$$

Скорость потока воздуха:

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{\text{в}}}}, \text{ м/с}, \quad (2.3)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха кг/м^3 .

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{215,6}{1,28}} = 18,35 \text{ м/с}.$$

Площадь поперечного сечения входного патрубка:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2; \quad (2.4)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,036^2}{4} = 0,00102, \text{ м}^2$$

Тогда объемный расход:

$$Q_v = F \cdot V, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad (2.5)$$

$$Q_v = 18,35 \cdot 0,00102 = 0,0187, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Концентрация запыленного потока составляет:

$$c = \frac{Q_m}{Q_v}, \text{ г/м}^3; \quad (2.6)$$

$$c = \frac{0,0833}{0,0187} = 4,45, \text{ г/м}^3.$$

Средняя масса фильтра до эксперимента:

$$m_{1\phi}^{\text{ср}} = \frac{\sum_1^5 m_{\phi 1}}{5}, \text{ г}. \quad (2.7)$$

Средняя масса фильтра после эксперимента:

$$m_{2\phi}^{\text{ср}} = \frac{\sum_1^5 m_{\phi 2}}{5}, \text{ г}. \quad (2.8)$$

Масса пыли осевшей в фильтре:

$$\Delta m_{\phi} = m_{2\phi}^{\text{ср}} - m_{1\phi}^{\text{ср}}, \text{ г}; \quad (2.9)$$

$$\Delta m_{\phi} = 134,2 - 125,4 = 8,8, \text{ г}.$$

Эффективность по улову:

$$\eta_{\text{ул}} = \frac{m_{\text{улов}}^{\text{ср}}}{m_{\text{под}}} \cdot 100\%; \quad (2.10)$$

$$\eta_{\text{ул}} = \frac{39,96}{50} \cdot 100\% = 79,92\%.$$

Эффективность по уносу:

$$\eta_{\text{унос}} = \frac{m_{\text{улов}}^{\text{ср}}}{m_{\text{улов}}^{\text{ср}} + \Delta m_{\phi}} \cdot 100\%; \quad (2.11)$$

$$\eta_{\text{унос}} = \frac{39,96}{39,96 + 8,8} \cdot 100\% = 81,95\%.$$

Расчет эффективности установки с использованием циклонного аппарата без применения местного сопротивления для изменения траектории движения запыленного потока были проведены аналогично по формулам (2.1) - (2.11), подробное описание и расчет данного эксперимента приведен в моей бакалаврской выпускной квалификационной работе. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета эффективности противоточного концентратора при различной глубине погружения выхлопного патрубка

Конструкция циклонного аппарата использованного в установке	Действительная скорость потока, V, м/с	Действительная концентрация дисперсного материала, с, г/м ³	Эффективность, %	
			По улову $\eta_{ул}$	По уносу $\eta_{унос}$
Без местного сопротивления	20,33	4,02	98,9	99,3
С стационарными лопатками на выпускном патрубке	18,35	4,45	79,92	81,95

Для более наглядного представления результатов была построена диаграмма. Диаграмма изменения эффективности установки по улову и по уносу при введении в циклон дополнительного местного сопротивления для изменения траектории движения запыленного потока представлены на рисунке 13(а, б).

Эффективность по улову

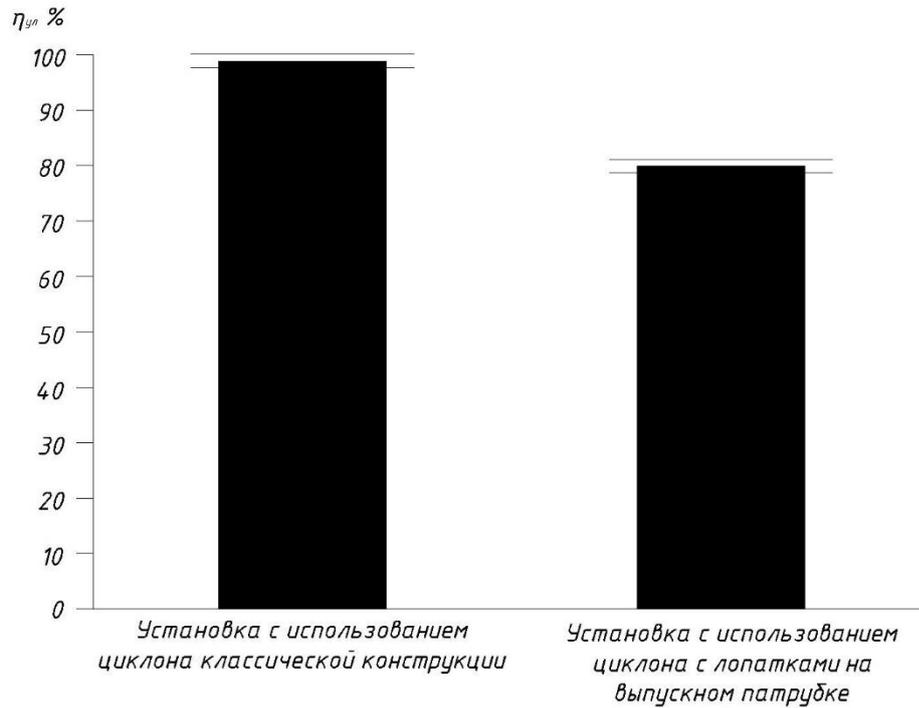


Рисунок 13а – зависимость эффективности по улову от глубины погружения выхлопного патрубка

Эффективность по уносу

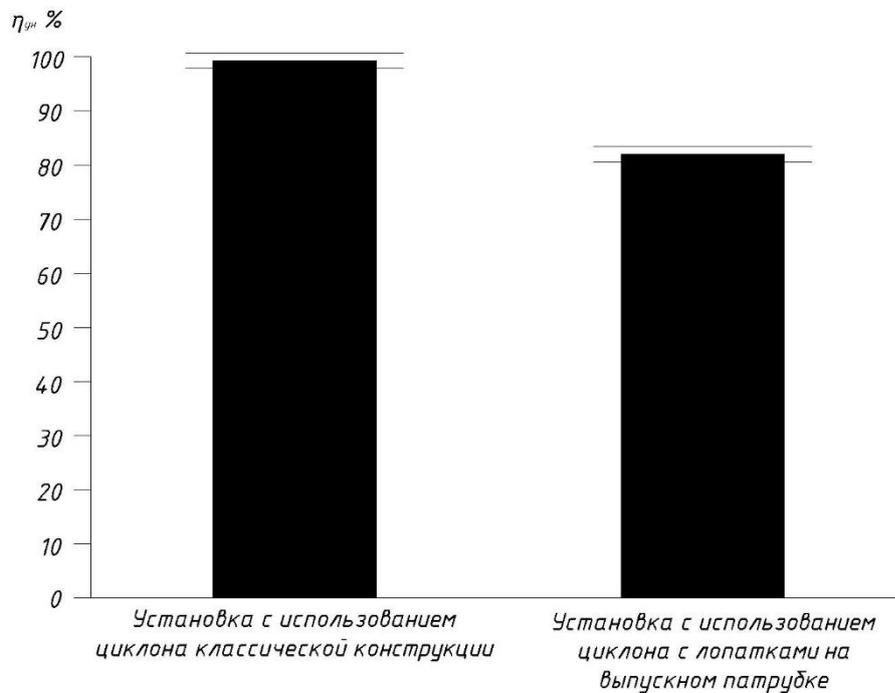


Рисунок 13б – зависимость эффективности по уносу от глубины погружения выхлопного патрубка

2.3.2 Методика расчета погрешности

Погрешность прямых измерений массы механических примесей на входе в противоточный цилиндрический концентратор и на выходе из него определяется, следующим образом:

- По результатам измерений величины массы механических примесей определяется среднее арифметическое из n опытов.

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \text{ г}, \quad (2.12)$$

$$\tilde{m} = \frac{39,9 + 40,1 + 40 + 39,6 + 39,7 + 39,9 + 40,2 + 39,8 + 39,8 + 39,5 + 40,8 + 39,9 + 40,3 + 40,2 + 39,7}{15} = 39,96, \text{ г}.$$

- Вычисляется среднеквадратичное отклонение результатов испытаний от среднего арифметического:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{m} - m_i)^2}{n \cdot (n - 1)}}, \quad (2.13)$$

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(0,06)^2 + (-0,14)^2 + (-0,04)^2 + (0,36)^2 + (0,26)^2 + (0,04)^2 + (-0,24)^2 + 2(0,16)^2 + (0,46)^2 + (-0,84)^2 + (0,06)^2 + (-0,34)^2 + (-0,24)^2 + (0,26)^2}{15 \cdot (15 - 1)}} = 0,0184$$

- Для доверительной вероятности $\alpha=0,95$ и при количестве измерений n по таблице 4 определяется коэффициент Стьюдента $t_{\alpha n}$.

Таблица 4 – значения коэффициента Стьюдента

n	$t_{\alpha n}$ при $\alpha=0,95$
2	12,71
3	4,30
4	3,18
5	2,78
6	2,57
7	2,45
8	2,36
9	2,31
10	2,26
11	2,22
12	2,20
13	2,18
14	2,16
15	2,15
16	2,13
17	2,12
18	2,10
19	2,09
20	2,09
∞	1,96

- Рассчитываются границы доверительного интервала (случайная погрешность) для многократных измерений:

$$\Delta \widetilde{m}_{сл} = t_{\alpha n} \cdot \tilde{\sigma}; \quad (2.14)$$

$$\Delta \widetilde{m}_{сл} = 2,15 \cdot 0,0184 = 0,0396$$

- Рассчитывается инструментальная погрешность:

$$\Delta \widetilde{m}_{ои} = \alpha \cdot d; \quad (2.15)$$

где d – параметр равномерного распределения, связанный с классом точности или с ценой деления измерительного прибора.

$$\Delta \tilde{m}_{\text{ои}} = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475.$$

Так как случайная погрешность меньше инструментальной, можно сделать вывод что количество опытов в серии достаточно для получения достоверного результата.

Определим доверительный интервал прямых измерений:

$$\Delta \tilde{m} = \sqrt{\Delta \tilde{m}_{\text{ои}}^2 + \Delta \tilde{m}_{\text{сл}}^2}; \quad (2.16)$$

$$\Delta \tilde{m} = \sqrt{0,0475^2 + 0,0396^2} = 0,0618.$$

Относительная погрешность измерения массы составила:

$$\delta = \frac{\Delta \tilde{m}}{\tilde{m}} \cdot 100\% \quad (2.17)$$

$$\delta = \frac{0,0618}{39,96} \cdot 100\% = 0,15\%$$

Аналогичным образом проводятся расчеты для нахождения доверительных интервалов других измерений в работе.

Доверительный интервал серии косвенных измерений величины эффективности процесса очистки определяется формулой:

$$\Delta \tilde{\eta} = \tilde{\eta} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta \tilde{m}_1}{\tilde{m}_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tilde{m}_2}{\tilde{m}_2}\right)^2}; \quad (2.18)$$

Тогда доверительный интервал серии измерений эффективности по улову:

$$\Delta \tilde{\eta}_{\text{ул}} = 79,92 \cdot \frac{0,0618}{39,96} = 0,12.$$

Доверительный интервал серии косвенных измерений эффективности по уносу:

$$\Delta \tilde{\eta}_{\text{унос}} = 81,95 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,0618}{39,96}\right)^2 + \left(\frac{0,0349}{125,4}\right)^2 + \left(\frac{0,0824}{134,2}\right)^2} = 0,14.$$

2.4 Выводы по разделу

Анализ полученных результатов показал, что эффективность воздухоочистки в установке с использованием циклона в котором предусмотрено дополнительное местное сопротивление ниже установки с обычным циклоном. Эффективность с учетом погрешности составила:

По улову:

для классического циклона $(98,90 \pm 0,12) \%$;

для новой конструкции циклона $(79,92 \pm 0,12) \%$.

По уносу:

для классического циклона $(99,3 \pm 0,14) \%$;

для новой конструкции циклона $(81,95 \pm 0,12) \%$.

Сравнивая результаты измерений не трудно заметить, что с введением дополнительного сопротивления перепад давлений заметно снизился, что говорит о потере скорости потока. В связи со снижением скорости потока неизбежна потеря в эффективности установки. Решением данного снижения эффективности может послужить замена дутьевого вентилятора, используемого в установке на более мощный, что требует огромных капиталовложений а так же большего расхода электроэнергии что не является целесообразным, либо более точный расчет и моделирование аэродинамических свойств лопаток, используемых в циклоне и соответственно их замена, что не гарантирует хороший результат при проведении эксперимента, а постоянное изменение конструкции циклона для подбора оптимальной формы и количества лопаток так же требует больших ресурсов. В связи с чем было решено продолжить изучение влияния местных сопротивлений на эффективность пылеочистки в инерционных аппаратах на примере противоточного концентратора с подвижными лопатками, меняющими направление потока, подробнее эта идея будет описана и изучена в моих следующих работах или работах моих коллег по тематике.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ83	Цыганкову Михаилу Андреевичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление / специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Оклад инженера 17000 руб., оклад научного руководителя 27500 руб. 2. Норма амортизационных отчислений 20%. 3. Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 % от заработной платы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности исследования пылеочистки циклонными аппаратами с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ диссертации
2. Планирование и формирование бюджета исследования новой конструкции циклонного аппарата	Составление сметы затрат на проект

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ83	Цыганков М.А.		

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Системы очистки воздуха применяются в современном производстве повсеместно. В химической, металлургической, деревообрабатывающей, строительной, пищевой промышленности воздухоочистительные аппараты применяют для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха в производственных помещениях для комфортных условий труда. Циклонные аппараты являются наиболее надежными и сравнительно дешевыми аппаратами сухой пылеочистки. Постоянное ужесточение требований к составу воздуха вынуждает увеличивать эффективность воздухоочистки, поэтому усовершенствование циклонных аппаратов является актуальной проблемой в современной энергетике. В данной работе было проведено исследование сухой пылеочистки воздуха с помощью противоточного циклонного аппарата с применением местного сопротивления для изменения траектории движения потока а так же дополнительного подкручивания для усиления действия центробежной силы. Оценена эффективность новой конструкции установки. Разработаны рекомендации по дальнейшему исследованию данной области.

3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

В состав рабочей группы для выполнения научных исследований входят руководитель и инженер. У каждого из членов рабочей группы имеется необходимый план работ и график по которому эти работы выполняются.

Все виды выполняемых работ и временные затраты на их выполнение представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень работ и оценки времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность, дней
1	Выдача и получение задания	Инженер	1
		Научный руководитель	1
2	Обзор литературы по выбранной теме	Инженер	12
		Научный руководитель	-
3	Постановка целей и задач исследования (составление плана работы)	Инженер	5
		Научный руководитель	1
4	Выполнение графической части для подготовки стенда	Инженер	4
		Научный руководитель	1
5	Закупка и подготовка необходимого оборудования и материалов	Инженер	7
		Научный руководитель	3
6	Подготовка стенда к испытаниям	Инженер	4
		Научный руководитель	2
7	Проведение исследования на стенде	Инженер	28
		Научный руководитель	-
8	Анализ результатов исследований	Инженер	5
		Научный руководитель	1
	ИТОГО	Инженер	66
		Научный руководитель	9

3.2 Смета затрат на проект

Определение общей сметы затрат на проект необходимо для расчета инвестиционных издержек, которые нам необходимо знать для анализа эффективности вложенных средств.

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб}, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты; $K_{\text{ам}}$ -амортизация компьютерной техники; $K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату; $K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды; $K_{\text{пр}}$ - прочие затраты; $K_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

3.2.1 Материальные затраты

Величина материальных затрат составила 2000 рублей на приобретение канцелярских товаров, необходимых для выполнения работы.

3.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб/год}, \quad (3.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования компьютерной техники; $T_{\text{кал}}$ - календарное время; $C_{\text{кт}}$ - цена компьютерной техники; $T_{\text{сл}}$ - срок службы компьютерной техники.

Тогда, по формулле (3.2,2):

$$K_{\text{ам}} = \frac{66 + 9}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1027,5, \text{ руб/год}.$$

3.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты всем исследователям занимающимся разработкой этого проекта, то есть заработные платы инженера и научного руководителя:

$$K_{\text{з/пл}} = 3P_{\text{инж}}^{\Phi} + 3P_{\text{нр}}^{\Phi}, \text{ руб}, \quad (3.3)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера (инженер – 17000 руб.), $ЗП_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя (доцент – 27500 руб.).

Месячный оклад:

$$ЗП_{инж}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб};$$

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 27500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб},$$

где $ЗП_{инж}^M$ - месячная заработная плата инженера; $ЗП_{нр}^M$ - месячная заработная плата научного руководителя; $ЗП_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., н.р. 27500 руб.); K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%); K_2 - районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \text{ руб}, \quad (3.4)$$

где $ЗП_{мес}$ - месячная заработная плата; 21 - среднее число рабочих дней в месяце; n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

По формуле (4):

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 66 = 76402,86, \text{ руб};$$

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{37609}{21} \cdot 9 = 16118,14, \text{ руб};$$

$$K_{з/пл} = 76402,86 + 16118,14 = 92521, \text{ руб}.$$

3.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,302, \text{ руб}. \quad (3.5)$$

$$K_{соц/н} = 92521 \cdot 0,302 = 27756,3 \text{ руб}.$$

3.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \text{ руб.} \quad (3.6)$$

$$K_{\text{пр}} = (2000 + 1027,5 + 92521 + 27756,3) \cdot 0,1 = 12330,5 \text{ руб.}$$

3.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \text{ руб.} \quad (3.7)$$

$$K_{\text{накл}} = 92521 \cdot 2 = 185042 \text{ руб.}$$

Смета затрат на проект представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы затрат	Стоимость, руб
1	Материальные затраты	2000
2	Амортизация компьютерной техники	1027,5
3	Затраты на заработную плату	92521
4	Затраты на социальные нужды	27756,3
5	Прочие затраты	12330,5
6	Накладные расходы	185042
Итого:		320677,3

3.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

Для более полной оценки коммерческого потенциала, перспективности исследования пылеочистки циклонными аппаратами с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ниже указаны затраты на оборудование использованное в исследовании, которое приобреталось для ранее проведенных исследований на базе нашей лаборатории, включая выпускную квалификационную работу бакалавра.

В таблице 6 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 6 – Затраты на оборудование

Наименование	Цена за единицу, руб.	Количество, шт.	Суммарная цена, Руб.
Центробежный вентилятор	16 000	1	16 000
Улиточная камера	5 100	1	5 100
Противоточный концентратор	2 000	1	2 000
Противоточный циклон	1 000	2	2 000
Резиновый шланг	200	1	200
Рукавный фильтр	800	1	800
Гофрированные трубки	250	2	500
Итого (I_{рм}):			26600

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot I_{\text{обор}}, \text{ руб.} \quad (3.8)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot 26600 = 2660 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I_{\text{ИТОГ}} = I_{\text{обор}} + I_{\text{МОНТ}} = 25950 + 2595 = 28545 \text{ руб.}$$

3.4 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В данном разделе приведён расчёт затрат на опытное исследование пылеочистки дымовых газов с помощью инерционных аппаратов. По результату этих расчётов была составлена смета затрат необходимых для достижения поставленной цели. Стенд предназначен для исследования характеристик инерционных пылеотделителей и проведение лабораторных работ студентами, в ходе которых они смогут познакомиться с процессами обеспыливания в реальных условиях.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ83	Цыганкову Михаилу Андреевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Экспериментальное исследование сепарационных характеристик системы газоочистки при различных геометрических параметрах циклонных аппаратов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – процесс сепарации твердых частиц в потоке газа. Область применения – энергетика.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Отклонение параметров микроклимата; превышение уровня шума; превышение уровня вибрации; недостаточная освещённость рабочей зоны; повышенный уровень электромагнитного излучения. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	При разработке: – утилизация компьютерной техники исключает загрязнение окружающей среды пластиком и металлами. При эксплуатации: – Загрязнение атмосферы взвешенными частицами пыли при не достаточной эффективности аппарата.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	При разработке: – в результате неисправности или короткого замыкания возможно возгорание компьютера. При эксплуатации: – возгорание электродвигателя установки вследствие короткого замыкания.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
	27.03.2020

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романова С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ83	Цыганков М.А.		

СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Социальная ответственность – это сознательное отношение какого-либо субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, социальных ценностей, норм, задач и правил, а также гражданского долга, понимание субъектом последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Социальная ответственность подразделяется на корпоративную и индивидуальную. Корпоративная социальная ответственность – это идея в рамках которой организации учитывают интересы общества и возлагают на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны современного общества. Согласно данной концепции организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников, их семей, а также местного сообщества и общества в целом. При этом корпорации получают многочисленные преимущества от того, что работают не на более широкую и продолжительную перспективу, чем собственная краткосрочная прибыль. Среди социальных вопросов на производстве особое место занимают работа по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Применение инерционных аппаратов для очистки воздуха приведет к улучшению условий труда и санитарно-гигиенической обстановки в различных отраслях производства. При очистке инерционными аппаратами дымовых газов значительно уменьшатся вредные выбросы в атмосферу, улучшится экологическая ситуация районов прилегающих к месту выбросов.

В данной работе было проведено исследование сухой пылеочистки воздуха с помощью противоточного циклонного аппарата с применением

местного сопротивления для изменения траектории движения потока а также дополнительного подкручивания потока для усиления действия центробежной силы. Разработаны рекомендации по дальнейшему исследованию данной области. Для проведения данного исследования был использован лабораторный стенд с тремя ступенями пылеочистки:

Первая ступень - противоточный пылеконцентратор с глубиной погружения патрубка 80% от рабочей длины.

Вторая ступень - выносной противоточный циклонный аппарат с стационарными лопатками на выпускном патрубке.

Третья ступень - рукавный фильтр для задержания материала не уловленного в пылеконцентраторе и выносном циклоне.

В исследовании использовался центробежный вентилятор для создания необходимого перепада давлений производства НП ООО «Тайра» ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью 1000 м³/ч при разряжении 3000Па. В качестве газовой среды в опытах использовался воздух из аудитории с температурой 18-20 °С, и относительной влажностью 50%. В качестве загрязняющего вещества был использован цемент марки М400.

Процесс исследования по большей части состоял из работы на персональном компьютере. А именно сбор информации по тематике исследования, составление рабочих чертежей новой конструкции циклонного аппарата, регистрирование и обработка результатов проведенных опытов.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 18, 4 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место в аудитории 18, 4 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от

края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 18, 4 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

4.2 Производственная безопасность

Целью данного раздела является выявление и анализ вредных и опасных факторов труда, определение необходимых мер защиты от них работающего персонала, оценка условий труда, микроклимата среды и предоставление рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

Факторы, влияющие на исследователя при выполнении исследовательской работы, занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96
2. Превышение уровня шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
3. Превышение уровня вибрации		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566-96
4. Недостаточная освещённость рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82
6 Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

4.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Оптимальная температура воздуха в учебных помещениях, согласно [ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях], составляет 20-22 °С, влажность 30-60%, скорость движения воздуха не должна превышать 0,1 м/с.

Для производственных помещений (лаборатории), согласно [СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах] относительная влажность воздуха не должна превышать 55%, скорость движения воздуха не должна превышать 0,2 м/с.

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 18, 4

корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды. Так же для поддержания благоприятного микроклимата помещения необходимо регулярно проветривать помещение, а также проводить влажную уборку.

4.2.2 Превышение уровня шума

Источниками шума при работе компьютера являются вращающиеся детали, такие как жёсткий диск, вентиляторы охлаждения корпуса, процессора, видеокарты и блока питания. Так же в аудитории 18, 4 корпуса ТПУ источником шума является центробежный вентилятор ВЦ-5-35, 3000 об/мин с производительностью $Q=1000$ м³/час при разрежении 3000 Па. В качестве тестовой пыли использовалась пыль цемента М 400 с медианным размером частиц мкм, дисперсией , плотностью $\rho=2900$ кг/м³. В качестве рабочего потока использовался атмосферный воздух помещения лаборатории. Опыты проводились при нормальных условиях. Расход воздуха через установку определялся по входному коллектору путём измерения статического разрежения. Был применен весовой метод.

Шум является вредным фактором при работе исследователя за компьютером. При длительном использовании компьютера шум может действовать на человека раздражающе, вызывать повышенную утомляемость и раздражимость.

Согласно [*Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.562-96*] допустимый уровень шума в аудитории не должен превышать 75 дБ. Вентиляторы современных системы охлаждения персональных компьютеров и ноутбуков имеют частоту порядка 37 дБ, что находится в пределах нормы, однако при работе экспериментальной

установки допустимый уровень шума превышен в связи с чем необходимо провести мероприятия по оснащению рабочих мест средствами защиты такими как шумозоляционными стенами, и средствами индивидуальной защиты (беруши).

4.2.3 Превышение уровня вибрации

Вибрацию при работе компьютера создают вращающиеся детали – вентиляторы и жёсткий диск. Вибрацию также усиливает металлический корпус системного блока и поверхность, на которой он установлен.

При работе экспериментальной установки вибрация создается центробежным вентилятором параметры которого описаны в предыдущем пункте.

Превышение уровня вибрации на рабочем месте ведёт к усталости и утомляемости человека.

Согласно санитарным нормам [*СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»*] уровни вибрации в производственных помещениях при работе на ПК не должны превышать следующих значений (по виброскорости) на частотах 2, 4, 8, 16, 31,5, 63 Гц соответственно 79, 73, 67, 67, 67, 67 дБ, скорректированные значения и их уровни в дБА - 72 дБ.

Вибрацию при работе компьютера создается жестким диском и вентиляторами, погасить ее можно, например, путем использования резиновых прокладок между корпусом компьютера и вибрирующими частями. Вибрацию при работе центробежного вентилятора можно снизить жестким закреплением вентилятора к каркасу а так же использование вибропоглощающих прокладок при установке каркаса установки к полу аудитории.

Согласно справочным данным, вентиляторы и жёсткие диски современных персональных компьютеров и ноутбуков имеют незначительные уровни создаваемых ими вибраций, которые укладываются в нормы, заявленные в СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

4.2.4 Недостаточная освещённость рабочей зоны

Для обеспечения нормативных условий работы в помещении проводится оценка освещенности рабочей зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Измерение освещенности помещения проводят при помощи специальных приборов – люксметров, также освещенность помещения указывается в паспорте объекта, либо определяется по методике, представленной в [ГОСТ 24940-2016. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 25 с.].

Согласно [ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений], норма освещённости для лабораторий и кабинетов, оснащённых компьютерной техникой, составляет не менее 500 лк.

Неправильное освещение может вести к заболеваниям органов зрения, снижению работоспособности человека, возникновению головных болей и другим проблемам со здоровьем.

В аудитории 18, 4 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ (монитор 18.5" Монитор Dell E1916HE [916H-1972], ПК DEXP Aquilon O203- [Intel Celeron J3060, 2x1600 мГц, 4 ГБ DDR3, HDD 1000 ГБ]), осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 18, 4 корпуса, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Ввиду отсутствия необходимого оборудования (люксметров) не представляется возможным провести измерения уровня освещенности рабочих зон для установления соответствия их установленным нормам.

Однако стоит отметить, что они оснащены как рабочим, так и аварийным освещением, что удовлетворяет требованиям *СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03*.

4.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасность – это система мероприятий для защиты людей и животных от вредного и опасного воздействия электрического тока, дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

При проведении исследований источниками повышенного напряжения в электрической цепи, которое может привести к электротравме, являются персональный компьютер и центробежный вентилятор с электроприводом.

Возникновение электротравмы может быть обусловлено такими обстоятельствами как:

- случайное прикосновение к токоведущим частям;
- появление напряжения на металлических частях электрооборудования (например, корпусах), которые не должны находиться под напряжением. Это может происходить вследствие повреждения изоляции токоведущих частей оборудования и пр.

Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое и механическое действия. Непосредственной причиной смерти при этом является не сам электрический ток, а местные повреждения организма, вызванные им. Характерные виды местных электротравм: электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и прочее.

Требования безопасности перед началом работы:

1. Очистить прибор от пыли и грязи.
2. Внешним осмотром убедиться в исправности электроприбора (аппарата).
3. Убедиться в исправности розетки.
4. Переключатель электроприбора (аппарата) поставить в положение «Выключено».

5. Подключить прибор к электрической сети (при необходимости к заземлению) и включить его. Убедиться в его полной исправности.

6. При обнаружении неисправности выключить прибор и передать его для ремонта. Работать с неисправным прибором запрещается.

Требования безопасности во время работы

1. Работу производить в строгой последовательности, согласно инструкции по эксплуатации, составленной заводом-изготовителем. Не перегружать прибор.

2. Руки должны быть сухими.

3. Не отвлекаться от работы. Постоянно осуществлять контроль включенного прибора.

4. При обнаружении неисправности немедленно выключить прибор.

5. Лицам, пользующимся электроприборами, оборудованием и электроаппаратами запрещается:

- передавать электроинструмент хотя бы на короткое время постороннему;
- разбирать и производить самим какой-либо ремонт электроинструмента, мед. аппаратуры, проводов, штепсельных соединений и т. д.;
- держаться за провода или касаться вращающихся частей руками;
- пользоваться электроаппаратами, оборудованием и инструментами с поврежденными проводами, разбитыми штепсельными вилками и розетками;
- касаться корпуса электроаппаратуры, оборудования, не отключив его от сети.

6. Обнаружив неисправности в электроинструменте, нагревательных приборах, мед. аппаратуре, немедленно прекратить работу, вызвать электрика.

7. Во время отключения напряжения необходимо оборудование, инструмент и аппараты отключить от сети.

8. При отлучении работающего с места работы электроинструмент и аппараты должны отключаться от сети.

4.2.6 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с персональными компьютерами возникают электромагнитные поля (ЭМП). Источниками ЭМП являются видеотерминалы (ВДТ) на электронно-лучевых трубках.

Электромагнитное поле обладает способностью биологического, специфического теплового воздействия на организм человека. Последствия длительного воздействия электромагнитного поля могут быть следующие: повышенная утомляемость, головная боль, сонливость, боль в области сердца, гипертония, нарушение условно-рефлекторной деятельности, изменения межнейронных связей. Указанные явления могут быть слабо, умеренно или явно выражены.

Согласно [*СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организация работ, Москва, 1996 г.*], напряженность ЭМП на расстоянии 50 см. вокруг ВДТ по электрической составляющей, должна быть не более:

- 5 Гц – 2 кГц в диапазоне низких частот (25 В/м);
- 2 – 400 кГц в диапазоне высоких частот (2,5 В/м).

Все компьютеры, находящиеся в аудитории, поддерживают международный стандарт безопасности ТСО 95. Величина излучения от монитора, соответствующего этому стандарту составляет не более:

- 5 Гц – 2 кГц в диапазоне низких частот (10 В/м);
- 2 – 400 кГц в диапазоне высоких частот (1 В/м),

т.е. уровень напряженности не превышает установленных норм.

4.3 Экологическая безопасность проекта

Сегодня состояние окружающей среды требует от создателей новых технологий и машин пристального внимания к вопросам экологии. Любое техническое решение должно приниматься с учетом не только технологических и экономических требований, но и экологических аспектов.

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.
3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.
4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.
6. Получается специальная официальная форма, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах.

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также проведение экспериментов на лабораторном стенде. В качестве привода дутьевого вентилятора установки используется электродвигатель, с нулевым процентом вредных выбросов в окружающую среду. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

В настоящей работе проводились исследования для проектирования новых пылеулавливающих аппаратов, обладающих повышенной эффективностью сепарации твёрдых примесей загрязняющих веществ. Эти исследования могут быть полезны и эффективны для очистки дымовых газов от твердых частиц, что значительно снизит влияние выбросов в окружающую среду.

4 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 18, 4 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

1) Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего

противопожарного водопровода. Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 18, 4 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 9 - Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 4 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации (Рисунок 14).

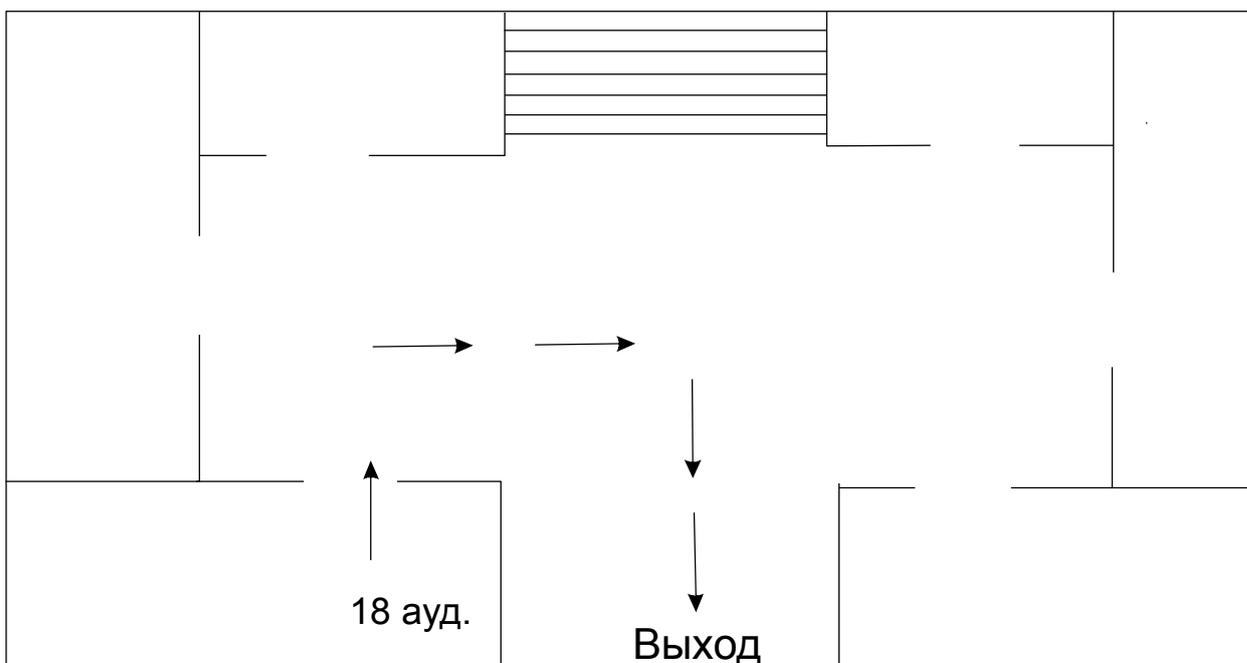


Рисунок 14. План эвакуации

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе социальная ответственность произведен анализ вредных факторов физического и психофизического характера, которые могут оказывать воздействие на человека в рабочей зоне; были выявлены возможные чрезвычайные ситуации, возникновения которых наиболее вероятно в зоне использования объекта исследования ВКР. Чтобы снизить к минимуму угрозу возникновения факторов, пагубно влияющих на здоровье рабочего персонала представлены необходимые меры безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель, а именно были разработаны рекомендации по работе и дальнейшему исследованию аппаратов пылеулавливания. В процессе исследования были выполнены поставленные задачи. Выполнен обзор новейшей научной литературы по тематике исследования процессов обеспыливания в инерционных циклонных пылеотделителях, выявлены наиболее перспективные предложения по совершенствованию конструкций инерционных пылеотделителей, основываясь на которые и была поставлена задача исследования. Основной задачей исследования стало получение исследование эффективности циклонного аппарата при наличии в нем местного сопротивления, а именно лопаток на выпускном патрубке. После чего была проведена сборка, настройка и проверка экспериментального стенда, после чего проведена серия из пятнадцати опытов. В качестве дисперсного материала был использован цемент М-400 со средним диаметром частиц 23-24мкм. Опыты проводились при температуре воздуха 18-20°С и относительной влажности около 50%. Более эффективной оказалась установка без лопаток на выхлопном патрубке, что обусловлено большим аэродинамическим сопротивлением, а соответственно меньшей скоростью в компоновке с лопатками. Эффективность с учетом погрешности составила:

По улову: для классического циклона $(98,90 \pm 0,12) \%$;

для новой конструкции циклона $(79,92 \pm 0,12) \%$.

По уносу: для классического циклона $(99,3 \pm 0,14) \%$;

для новой конструкции циклона $(81,95 \pm 0,12) \%$.

В установке с лопатками на выхлопном патрубке скорость потока составила 18,35м/с при концентрации дисперсного материала 4,45г/м³. В установке с использованием классического циклона скорость потока составила 20,33м/с при концентрации дисперсного материала 4,02г/м³. Однако считать данный результат универсальным нельзя, так как

эффективность пылеулавливания циклонных аппаратов во многом зависит от условий использования (влажности воздуха и температуры), от дисперсного состава загрязняющего вещества и газа. Что доказывает актуальность дальнейших исследований в области реконструкции циклонных аппаратов. Изучение влияния местных сопротивлений на эффективность пылеочистки в инерционных аппаратах необходимо продолжать на установках со сменными блоками лопаток для снижения ресурсозатрат на создание новых установок. Подобные исследования будут описаны и изучены в моих следующих работах или работах моих коллег по тематике.

Проведено экономическое обоснование проекта: рассчитана смета затрат на разработку проекта и затраты на оплату труда.

Проанализированы вредные и опасные факторы труда, разработаны меры защиты от них, оценены условия труда и микроклимата рабочей среды. Рассмотрены вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Приведенный анализ научной литературы показывает, что за последнее время достигнуты достаточно хорошие успехи в совершенствовании аппаратов сухой пылеочистки, однако имеется много противоречивых данных о эффективности одних и тех же аппаратов, что затрудняет проведение анализа, и вынуждает проводить проверку уже имеющихся опытных данных. Отсутствие обратной связи между проектными организациями и производственными предприятиями, эксплуатирующими газоочистку, привело к многочисленному тиражированию аппаратов, не отвечающих как паспортным характеристикам, так и все более ужесточающимся экологическим требованиям к качеству атмосферного воздуха.

Таким образом, не смотря на достижения в области очистки газов, проблема по созданию сравнительно недорогого и эффективного метода сухой пылеочистки оставляет исследование инерционных аппаратов актуальным в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теверовский Е.Н., Дмитриев Е.С. Перенос аэрозольных частиц турбулентными потоками. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
2. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. – Пенза: Изд-во ПГ ун-та, 2005. – 210 с.
3. Булыгин Ю. И., Панченко О. С., Романов В. А., Денисов О. В. Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон – Ростов: Вестник ДГТУ, 2013. – 9 с.
4. Ter Linden A.J. Investigation Into Cyclone Dust Collectors // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, vol. 160, 1949. – p. 233.
5. Кутателадзе С.С., Волчков Э.П., Терехов В.И. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках. – Новосибирск. – ИТФ СО АН СССР, 1987. – 282с.
6. Мельников В.К., Сухович Е.П., Завгородний В.А. Исследование поля тангенциальных скоростей в вихревой камере // Изв. АН Латвийской ССР. Серия физических и технических наук. –1968.-№3.-С 73-79.
7. Темникова Е. Ю., Исследование эффективности пылеулавливания в циклоне с рельефными поверхностями //ГОУ ВПО ТГАСУ - Кемерово, 2012.
8. Справочник по пыле- и золоулавливаю / Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред.А.А. Русанова. – 2 изд. –М.: Энергоиздат, 1983. – 312 с.
9. Лебедев В.Д., Маслов В.Е., Ключинин А.В., Лейкин В.З. Отработка и исследование конструкции делителя-концентратора пыли для блоков 500 МВт Экибастузской ГРЭС-2 // Теплоэнергетика, 1985. № 2. – С.35-37.
10. Василевский М.В., Шилияев М.И. Расчёт турбулентного течения аэрозоля в прямоточном циклоне // Методы гидро- аэромеханики в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. – С.84-95.

11. Василевский М.В. Обобщенные параметры, определяющие эффективность сепарации в циклонных пылеуловителях // Методы гидроаэромеханики в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. – С.96-101.
12. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
13. Потапов О.П, Кропп Л.Д. Батарейные циклоны. – М.: Энергия, 1977. – 152 с.
14. Кукушкин И.В., Мальгин А.Д. Расчет эффективности очистки и раздачи потока для батарейных циклонов с частичным отсосом и рециркуляцией потока // Механическая очистка промышленных газов. – НИИОГАЗ, Машиностроение, 1974. – С.30-43.
15. Веселов С.А. Практикум по вентиляционным установкам. М., изд-во «Колос», 1967.– 279с.
16. Волошенко А. В., Медведев В. В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2004.- 120 с.
17. Технико – экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания. Томск: ТПУ, 2002.- 53 с.
18. Н.А. Соломатин, Р.В. Акбердин, З.П. Румянцева., "Менеджмент организации".-М.: ИНФРА-М, 1995.-432 с.
19. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования.-М.: НПКВЦ "Теринвест",1994.-80с.
20. Л.А. Коршунова., "Инновационный менеджмент": Учебное пособие -Томск: Изд. ТПУ. 2000.-108 с.
21. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Вторая ред. авт.

кол.: В.В. Косов, В.Н. Лившиц, Л.Г. Шахназаров.-М.: ОАО "НПО"
Издательство Экономика, 2000.-421 с.

22. Управление проектами. Учебник/ Под ред. Шапиро В.Д. - Спб.:
"ДваТри", 1996.-610 с.

23. И.Т. Балабанов. " Инновационный менеджмент".- Спб.: Питер,
2001. -304с.

24. Охрана труда в электроустановках./ Под ред. Б.А. Князевского. М.

25. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении. М.: Машиностроение.

26. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических
установках. М.: Энергия. 1990.

27. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность./Справочник.
Баратов А.П. М: Химия. 1987.

28. Охрана окружающей среды./Под ред. Белова СВ. М.: Высш. шк.
1983.-264 с.

29. А.М. Родионов, В.Н. Клушин, И.С. Торочешников. Техника
защиты окружающей среды. - М: Химия. 1989.

30.Справочник по инженерной психологии./Под ред. Б.Ф. Ломова. -М:
Машиностроение. - 368 с.

31. Справочник проектировщика. 4.2. Вентиляция и
кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат. 1982.

32. Каменев П.И. Отопление и вентиляция. Г. 11. Вентиляция. - М.: Изд-
во литературы по строительству. 1966.

33. Левочкин Н.И. Инженерные расчеты по охране труда. - Красноярск:
КГУ. 1987. - 152 с.

34. Справочник для проектирования электрического освещения./Под
ред. Г.11. Кнорринга. - Л.: Энергия. 1976.

35. Безопасность производственных процессов. / Справочник. Под ред.
СВ. Белова. М.: 1985.

36. Голиков В.Я., Кореико И.П. Радиационная защита при
использовании ионизирующих излучений. – М.: Методика. 1975.-287 с.

37. Г.Ф. Денисенко. / Охрана труда. М.: Высш. шк. 1982.
38. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - М: Энергонздат. 1982.
39. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. –616 с.
40. М.В. Василевский, Е.Г. Зыков Расчёт эффективности очистки газ в инерционных аппаратах: Учебное пособие.– Томск: Изд-во ТПУ, 2005.–86с.
41. Электронный ресурс: тарифы на электроэнергию в Томске и Томской области, режим доступа: http://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/tomskaya_oblast/39310/.
42. Назаренко О.Б. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ // Томск: Изд. ТПУ, 2008. — 20 с.
43. Иванов Ю.В., Кацнельсон Б.Д., Павлов В.А. Аэродинамика вихревой камеры //Вопросы аэродинамики и теплоотдачи в котельно-топочных процессах. –М.;Л.: Госэнергоиздат, 1958 –С. 100 –114.
44. Ляховский Д.Н. Исследование аэродинамики циклонной камеры //Вопросы аэродинамики и теплоотдачи в котельно-топочных процессах. –М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958 –С. 114 –150.
45. Гольдштик М.А., Леонтьев А.К., Палеев И.И. Аэродинамика вихревой камеры /Теплоэнергетика.– 1961, №2. –С.40 –45.
46. Кутателадзе С.С., Волчков Э.П., Терехов В.И. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках.– Новосибирск. ИТФ СО АН СССР,1987.–282 с.
47. Устименко Б.П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях. –Алма–Ата: Наука, 1977.–228 с.
48. Шваб В.А. К вопросу обобщения полей скорости турбулентного потока в циклонной камере //Инж.- физич. журн.-1963.-Т. 6. № 2. – С. 102-108.

49. Штым А.Н. Аэродинамика циклонно- вихревых камер. – Владивосток: Дальневосточный ун-т, 1985. –200с.
50. Абрамович Н.Г., Бухман М.А., Устименко Б.П. Исследование влияния условий входа на структуру течения и сопротивление циклонных камер //Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1976. – Вып. 2. –С. 27 –31.
51. Гольдштик М.А. Вихревые потоки Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1981. –366 с.
52. Голубцов В.М. К расчету размеров зоны обратных потоков в циклонно - вихревых устройствах при течении вязкой жидкости //Изв. вузов. Энергетика. 1979. № 9. –С. 41 –45.
53. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.
54. Сабуров Э.Н., Карпов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика
55. закрученного потока в циклонных устройствах. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. –286 с.
56. Смутьский И.И. Расчет аэродинамики вихревой камеры. Несжимаемое течение. Ч.1 //Инж.-физ. журн.-1983.-Т 45, № 4-С. 663.
57. Кутепов А.М., Непомнящий Е.А. Центробежная сепарация газожидкостных смесей как случайный процесс. // ТОХТ. 1973, Т. 7, № 6, с.892-896.
58. Кутепов А.М. Стохастический анализ гидромеханических процессов разделения гетерогенных систем. // ТОХТ. 1987, т. 21, № 2, с. 147-156.
59. Степанов Г.Ю., Зицер И.М. Инерционные воздухоочистители. – М.: Машиностроение, 1986. –184 с.
60. Hukki R.T. and Airaksinen T. A study of the improved pneumatic classification on production of micropowder // Fine Particles Processing.

Proceedings of the International Symposium on Fine Particles Processing Las Vegas, Nevada, February 24-28. 1980. V1, P.181–208.

61. Тадольдэр Ю.А. Об изнашивании металлов при повышенных скоростях струи. –Труды Таллинского политехнического института, 1975, №381, С. 83 –85.

62. А.С. (СССР) 1611405 Пылеотделитель /Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Козлова В.В., Росляк А.Т., Зятиков П.Н. // Б.И.1990, № 45. Патент №2325953 №РФ Пылеотделитель: / М.В. Василевский, Е.Г. Зыков, А.С. Разва, В.С. Логинов.– Бюл. №16, 2008.

63. Руководящие технические материалы. Пневмотранспорт сыпучих материалов (гранулированных и порошкообразных) взвесью, с поршневой структурой и сплошным потоком материала //МХП СССР. Томск: из-во Томск. ун-та. 1987.- 188 с.

64. А.С. (СССР) 1554985 Способ сепарации из воздушного потока наэлектризованной полимерной примеси /Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Свищев Б.Г., Кочетков Н.А., Гордеев В.К. // Б.И. 1990, №13.

65. Василевский М.В., Зыков Е.Г. Интенсивность возвратных течений в сильно закрученных потоках //Энергетика: экология, надёжность, безопасность. Материалы докладов восьмой Всерос. научно- техн. конф.- Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та. 2002, С.232 -236.

66. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. – М.: Мир, 1987. –588с.

67. Нурсте Х.О. Затухание закрутки потока в трубе круглого сечения. –Изв. АН Эстонской ССР.Сер. физика и математика, т. 23, 1973, №1,С. 77 –82.

68. Хигир Н.А., Бэр, Распределение скорости и статического давления в закрученных воздушных струях, вытекающих из кольцевых и расширяющихся сопел. –Теоретические основы инженерных расчетов, 1964, №4, С.185 –194.

69. Хигир, Червинский А. Экспериментальное исследование

закрученного вихревого движения в струях. – Труды ASME, сер. E. Прикладная механика. –1967, т. 34, №2, С. 208-216.

70. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен, и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. –М.: Машиностроение 1982. –200 с.

71. Смит Дж. Экспериментальное изучение вихря в циклонном сепараторе. Тр. Амер. об-ва инж. – мех. Техническая механика. Серия Д. – 1962. –Т 84, №4, С. 229 –236.

72. Сосонкин А.Е., Двойнишников В.А., Книга А.А., Метод расчета аэродинамической структуры изотермического потока в циклонной камере. –Теплоэнергетика, 1991, №2, с. 66-68.

73. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019

74. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015

75. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003

76. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003

77. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003

78. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

79. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996
80. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996
81. ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011
82. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984
83. Пожарная безопасность серверной комнаты [Электронный ресурс] URL: <https://avtoritet.net/library/press/245/15479/articles/15515>, Дата обращения: 01.04.2020
84. Системы противопожарной защиты УСТАНОВКИ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИЕ, 2009
85. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003
86. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020)
87. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017
88. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Седьмое издание, 2002
89. Специальная оценка условий труда в ТПУ. 2018.
90. Дашковский А.Г. Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Электробезопасность» для студентов всех специальностей ЭЛТИ. Томск, изд. ТПУ, 2010.

Приложение А

An experimental study of the separation characteristics of a gas treatment system
for various geometric parameters of cyclone apparatus

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ83	Цыганков М. А.		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Разва А. С.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Костомаров П.И.	к.ф.н		

Introduction

In modern production, air purification systems are used everywhere. In the chemical, metallurgical, woodworking, construction, and food industries, air purifiers are used to improve the sanitary and hygienic condition of atmospheric air in industrial premises for comfortable working conditions [1].

Some technological processes are associated with the movement and mechanical processing of bulk products, as well as the processing of solid materials accompanied by a large emission of dust into the environment. The necessary technical solution in such industries are suction systems. The task of which is to maintain clean air and create comfortable conditions in workrooms. With aspiration, a vacuum is created inside the sealing equipment, which eliminates the ingress of dust into the room [2-3].

Dust collecting devices also had a large role in pneumatic conveying systems. Pneumatic conveying installations - installations using air as a carrier medium, that is, air, together with the material being moved, moves through pipelines under a pressure difference. Such plants are often used in the transportation of various building materials, such as cement, and various food bulk products (cereals, cereals, sugar) are transported using pneumatic conveying systems. The loss of the transported material directly depends on the separation efficiency of the air-dispersed mixture[4].

Various plants can be used as installations separating air and dispersed material contained in it. For example: electrostatic air cleaners (the principle of operation is based on attracting small particles to elements with a static charge), filtering air cleaners (air seeping through the filter element leaves dispersed matter in it), inertial air cleaners (use centrifugal force and inertia force of a curvilinearly moving stream of polluted air), washing air cleaners (use the force of water tension to adhere particles to wet elements, also moisturize the air). Among all the above air purifiers, the most economical and easy to use devices are inertial devices. The main disadvantage of inertial devices is low efficiency in the presence of dispersed

particles in the air with a size of less than 15-20 microns [2]. Filter cleaners are able to catch even the smallest particles, however, their effective operation time is limited due to fast clogging, and filter breaks are possible with not timely replacement. Most often, in plants with the need for deep dedusting, is used combined cleaning such as filters are installed after cyclone devices.

Active implementation in industry and, accordingly, increased interest in the study of inertial apparatus began at the beginning of the 20th century. To combine the functions of separation and transportation of the cleaned medium, so-called rotary dust collectors were developed. Rotoclones were used to clean flue gases from ash in the United States of America in 1920-1950. For conveying piston-like materials, carrying out loading and unloading operations, in powder technologies, pneumatic conveying installations, which also use rotary dust separators, are widely used. In the world scientific community 30 - 80 years. of the last century, engineers carried out the development of relatively cheap small-sized inertial air cleaners to protect internal combustion engines, compressors, ventilated cabs of mobile vehicles, automobile transport, combine harvesters based on rotary dust collectors, alternative systems consisting of unloading, filtration, and injection units. Rotary devices served as air purifiers and superchargers. Evaluations of the efficiency of dust removal of air entering the cabins, based on the calculation of particle trajectories in the separation volumes of the apparatuses, showed the possibility of removing the most respirable hazardous part of the dust (more than 1.5 microns) from the air and using these apparatuses for sanitary air purification. However, the operational performance of the devices was lower than calculated. Rotary devices are widely used as classifiers of dusty materials[5-7].

A lot of effort was spent on the development of devices with agglomeration of particles on the surfaces of the channels of rotors, rotating filters, grids. However, they were not widely used, although they are cited as promising dust separators in the reference manuals.

From the foregoing, we can conclude that inertial devices are preferable in comparison with other types of air purification. That proves the relevance of a more

detailed study of the processes in cyclone apparatus and the development of design solutions that increase the efficiency of capture of finely dispersed substances. The effectiveness of air purification in cyclone apparatus directly depends on the composition of the dispersed part and the humidity of the dust-air mixture. So the efficiency of the same cyclone can approach one hundred percent and tend to infinity. Which proves the importance of an experimental study of each device for different conditions.

In this work, we conducted a study of dry dust cleaning of air using a countercurrent cyclone apparatus using local resistance to change the flow path and additionally twist the flow to enhance the action of centrifugal force. Recommendations are developed for further research in this area. To achieve the goal, the following tasks were set:

- Conducting a review of the scientific literature on the research of dust removal processes in cyclone apparatus;
- Statement of the research problem;
- Preparation of an experimental stand, conducting experimental research and analysis of the results;
- Development of new recommendations on the use of inertial apparatus.

Research problem statement

Based on the work of other authors, it was decided to conduct an experiment to identify the dependence of the efficiency of the cyclone apparatus on the presence of local resistance to further twist the flow in order to increase the action of centrifugal force. As local resistance, it was decided to use stationary blades mounted on the outer surface of the exhaust pipe, “meeting” the dusty stream introduced tangentially. Cement grade M400 was used as a pollutant.

The main objective of the study is to develop recommendations for the use and further study of cyclone devices as air purifiers.

Description of the installation and experiments

To conduct this study, a laboratory bench was used, a diagram of which is presented in a graphical application. This installation has three stages of dust cleaning:

The countercurrent dust concentrator shown in Figure 1 was used as the first stage. The essence of the dust concentrator operation is to enrich the gas flow with contaminating material due to the separation of part of the gas. Dusty gas enters through the inlet pipe tangentially, spinning moves along the apparatus, while the dispersed material is discarded due to centrifugal force to the walls of the dust concentrator, and two flows are formed: one, enriched with dust, moves along the periphery of the apparatus, at the end of which there is a pipe for the discharge of highly concentrated gas into additional dust separator (remote cyclone); the second stream moves parallel to the first, but closer to the axis of rotation of the stream, reaching the side wall, the stream turns 180° along the horizontal axis and moves towards the exhaust pipe, from where it is fed into the bag filter. That is, the processes of separation and removal of dust in the countercurrent dust concentrator are structurally separated. Figure 9 shows the direction of flow in solid thin lines.

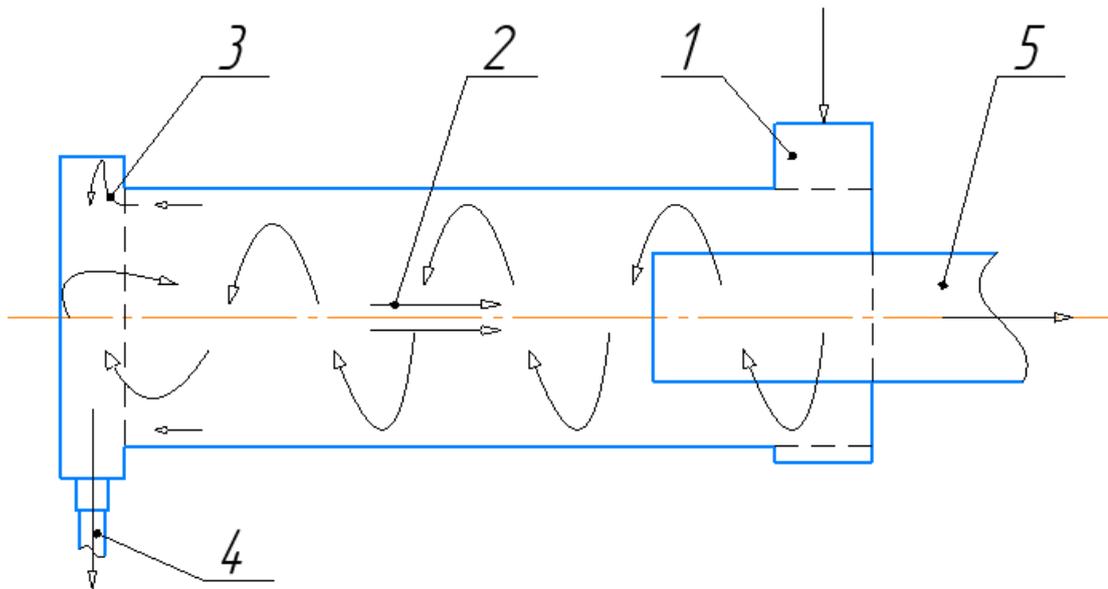


Figure 1. Scheme of the countercurrent hub

1 - inlet pipe; 2 - the direction of movement purified gas; 3 - direction of movement of the gas enriched in dispersed material; 4 - removal of dusty gas into a remote cyclone; 5 - exhaust pipe

During the implementation of the bachelor's final qualification work, the optimal immersion depth of the exhaust pipe was determined which amounted to 80% of the working length of the countercurrent hub, and therefore this parameter was used in the course of this work to achieve the maximum efficiency of the installation.

The air flow rate at the inlet to the installation was measured using a Testo-512 differential pressure gauge connected to a color meter in the inlet pipe with an inner diameter of 36 mm, and the inlet flow velocity was measured, the value of which ranged from 18-19 m / s. This type of pressure gauge allows you to evaluate the difference between static and total pressure as well as measure the flow rate from the received data.

An external countercurrent cyclone apparatus, shown in Figure 10, was used as the second stage of air purification. A countercurrent cyclone is the most effective precipitator of dispersed particles. Its principle of operation is similar to the principle of the concentrator, except that the cyclone has its own dust receiver, in which the gas stream transporting dust into it slows down and forms a layer of particles. A modern countercurrent vortex dust, the concentrator and cyclone are capable of

showing high efficiency even with a particle catch of about 10 μm .

In a countercurrent cyclone, the main part of the particles suspended in the gas is thrown to the cyclone wall, collecting dispersed material in a sort of bundles orderly moving down the conical wall. Passing through the dust outlet, the air stream enters the hopper where it loses speed and changes direction, due to which particles moving in the flow due to inertia fall out in the hopper, and the cleaned flow moves towards the exhaust pipe. The dust collector valve 4 (Figure 2) is designed to maintain pressure in the system. Since the system operates under vacuum, any holes in it will lead to a decrease in speed and, accordingly, to a decrease in the efficiency of the apparatus.

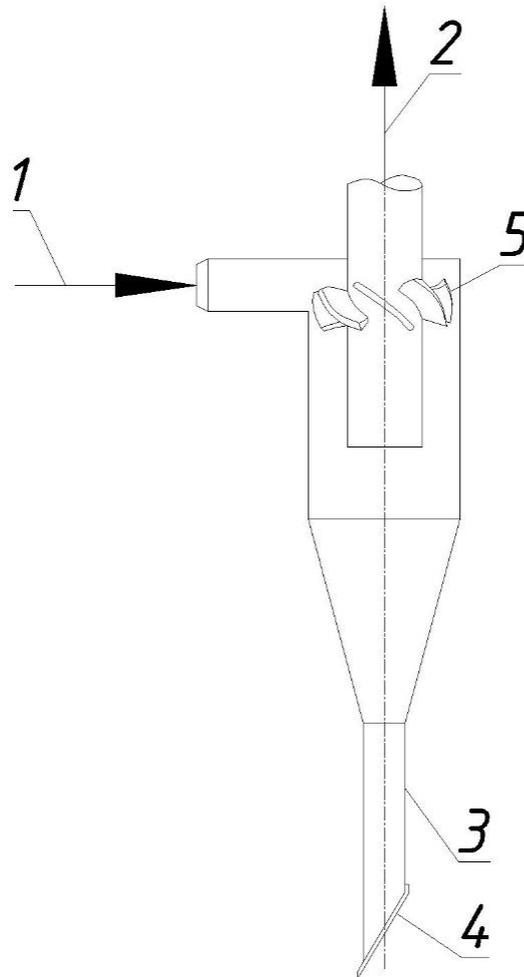


Figure 2. Scheme of countercurrent cyclone

1 - inlet pipe; 2 - outlet pipe; 3 - a dust collector; 4 - dust collector valve

In my work, the classical design of the cyclone was changed, namely, additional local resistance was added in the form of blades guiding the dusty stream at the inlet to the walls of the cyclone and also giving additional twisting of the flow. Dusty air, together with particles, encounters a blade in its path, which discards the flow closer to the walls of the cone. In this case, particles having a lower mass will be thrown into peculiar dust streamers moving along the walls to the dust collector.

The third stage of air purification at our experimental stand is a bag filter (Figure 3), it is designed to detain material not trapped in the dust concentrator and remote cyclone.

A fabric filter is the most sensitive element of the system; in its stable operation, not only the method used and the regeneration mode play an important role, but also the ability of the tissue to regenerate. The ability of the tissue to regenerate is characterized by the nature of the surface, the flexibility of the fabric and the presence of a special filter treatment. The main reasons for the failure of bag filters, namely their ruptures, are increased hygroscopicity of dusts or high humidity.

Figure 3 also depicts the centrifugal fan VTs used to create the necessary vacuum in the system. The study used a centrifugal fan manufactured by NP LLC Tyra VTS 5-35 No. 4 3000 rpm. with a capacity of 1000 m³ / h with a discharge of 3000Pa. In the experiments, we used air from the audience with a temperature of 18–20 ° C and a relative humidity of 50%. The experiments were conducted in the premises of the eighteenth audience of the fourth building of NI TPU. The main parameters and aerodynamic characteristics of the fan are given in the equipment certificate.

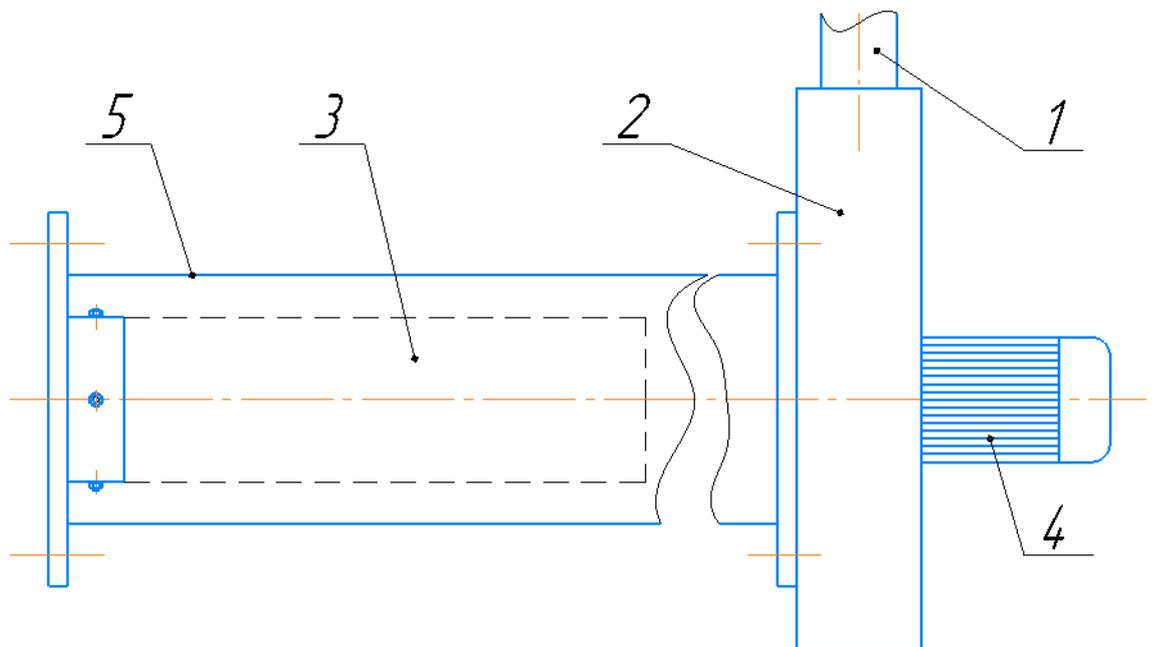


Figure 3. Diagram of a bag filter and a centrifugal fan

- 1 - the release of purified air into the atmosphere; 2 - centrifugal fan; 3 - bag filter;
4 - electric motor; 5 - bag filter housing

Results Processing

The initial data for the design of dust removal devices is information on the concentration of this dust, dispersed composition, air parameters, particle properties, etc. The method of obtaining this information is determined by the conditions of the project. If an air dust cleaning system is developed for existing plants, it is advisable to use experimental data, since the currently existing analytical methods are not entirely reliable, and do not make it possible to establish the necessary values with sufficient accuracy. However, for newly developed technologies, the method of theoretical assessment is the only possible one.

To conduct experiments, a research stand (graphical application) was assembled and set up. Which consists of a counter-current dust concentrator, a remote counter-current cyclone of a modified design, a bag filter and a blower that creates the necessary pressure difference. Cement grade M-400 with an average particle size of 24 μm and a density of 2900 kg / m³ was used as test dust.

The scheme of the dust concentrator used in laboratory tests is presented in

Figure 12, where l is the length of the working zone of the dust concentrator. This installation scheme and the depth of immersion of the exhaust pipe was chosen in order to compare the changes in the efficiency of the new installation with the installation used in my previous work as adequately as possible. To reduce the error in this study, one of the goals was to determine the number of experiments in a series of experiments, the results of which with minimal cost and time can give a minimum error. When conducting experimental research, firstly, such a number of experiments is necessary that would accurately reveal the curves of functional dependencies; in other words, it is necessary to determine such a minimum number of experimental points that would well represent the curve; therefore, the proposed nature of the curves of functional dependences actually determines the number of experiments. In the study, the number of experiments was chosen to be fifteen, to what extent the given number of experiments will optimally show the determination of the error in the next paragraph. If the error is less than 0.5%, then the number of experiments is chosen correctly and further experiments are not advisable, since an increase in the number of experiments due to the greater volume of calculations leads to a greater error in the calculations, which can lead to an erroneous result.

Table 1 - experimental data for calculating the dust collection efficiency of a circuit with a cyclone with additional local resistance to change the flow path

№	$D_{\text{вх.}}$, m	$d_{\text{ч.}}$, mkm	$m_{\text{под.}}$, g	$m_{\text{улов.}}$, g	$m_{\text{улов.}}^{\text{ср}}$, g	$m_{1\phi}$, g	$m_{1\phi}^{\text{ср}}$, g	$m_{2\phi}$, g	$m_{2\phi}^{\text{ср}}$, g	t, min	Δh , mm. of w.
1	0,036	24	50	39,9	39,96	125,3	125,4	134,8	134,2	10	22
2				40,1		125,4		133,3			
3				40		125,5		135,1			
4				39,6		125,5		134,4			
5				39,7		125,4		134,1			
6				39,9		125,4		132,5			
7				40,2		125,5		133,2			
8				39,8		125,5		133,8			
9				39,8		125,4		134,9			

10				39,5		125,6		134,4			
11				40,8		125,4		133,1			
12				39,9		125,3		132,8			
13				40,3		125,3		132,2			
14				40,2		125,4		137,4			
15				39,7		125,5		136,6			

Table 1 presents the experimental data for calculating the efficiency of the countercurrent dust concentrator: D_{BX} - diameter of the inlet pipe; d_q - the average radial particle size of the dispersed material; $m_{\text{пoд}}$ - is the mass of the supplied material; $m_{\text{yлoв}}$ - mass of material caught; $m_{1\phi}$ - is the mass of the filter before the experiment; $m_{2\phi}$ - filter mass after the end of the experiment; t is the time of the experiment; Δh is the vacuum in the system.

To reduce the influence of environmental factors, it was decided to conduct no more than two experiments per day so that the filter could take in the temperature and humidity of the laboratory after regeneration, and it was also decided to cancel the experiment in wet weather, to exclude the influence of humidity on the adequacy of the results.

The calculation results are presented in table 2.

Table 2 - the results of calculating the effectiveness of the countercurrent concentrator at different depths of immersion of the exhaust pipe

The design of the cyclone used in the installation	Actual flow rate, $V, \text{ m} / \text{ s}$	The actual concentration of dispersed material, $c, \text{ g} / \text{ m}^3$	Efficiency, %	
			By catch $\eta_{\text{yл}}$	Upon entry $\eta_{\text{yнoс}}$
Without local resistance	20,33	4,02	98,9	99,3
With stationary vanes at the outlet	18,35	4,45	79,92	81,95

For a more visual presentation of the results, a diagram was built. A diagram of the change in the plant's efficiency by catch and by ablation when additional local resistance is introduced into the cyclone to change the trajectory of the dusty stream is shown in Figure 4 (a, b).

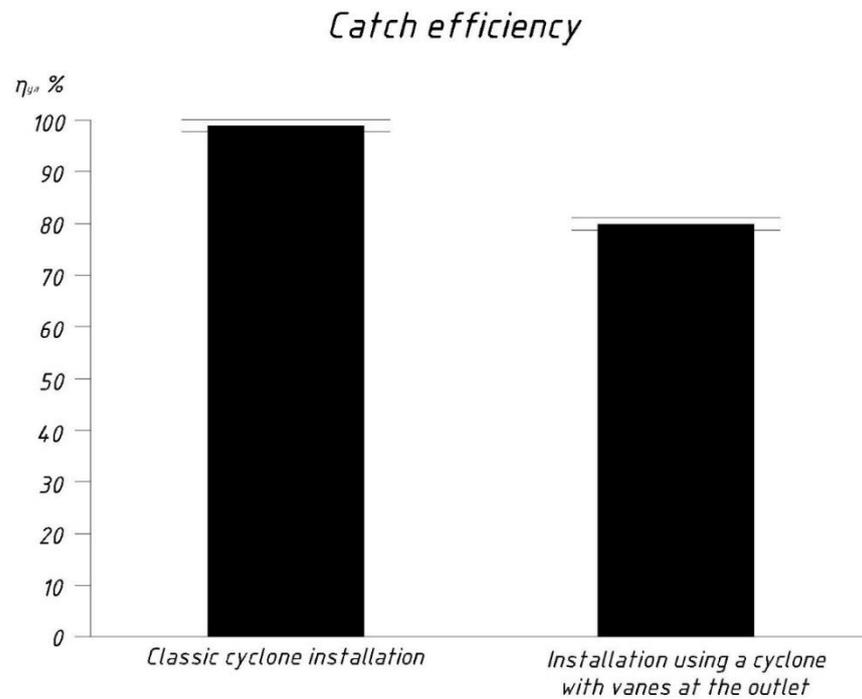


Figure 4a - dependence of catch efficiency on the depth of immersion of the exhaust pipe

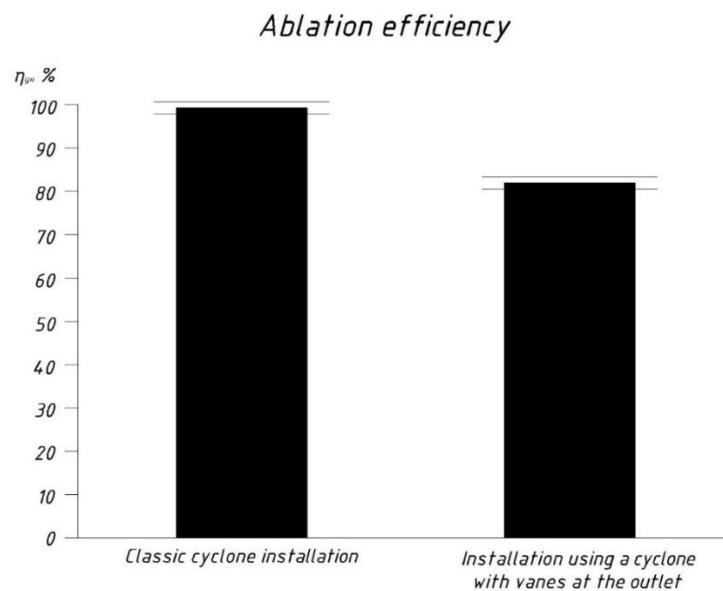


Figure 4b - dependence of ablation efficiency on the immersion depth of the exhaust pipe

Findings

An analysis of the results showed that the efficiency of air purification in the installation using a cyclone which provides additional local resistance below the installation with a conventional cyclone. Efficiency taking into account the error amounted to:

By catch:

for classic cyclone (98.90 ± 0.12)%;

for the new cyclone design (79.92 ± 0.12)%.

By ablation:

for classic cyclone (99.3 ± 0.14)%;

for the new design of the cyclone (81.95 ± 0.12)%.

Comparing the measurement results, it is not difficult to notice that with the introduction of additional resistance, the pressure drop has significantly decreased, which indicates a loss of flow rate. Due to the decrease in flow rate, a loss in plant efficiency is inevitable. The solution to this decrease in efficiency can be to replace the blower fan used in the installation with a more powerful one, which requires huge investments and a greater energy consumption that is not advisable, or a more accurate calculation and modeling of the aerodynamic properties of the blades used in the cyclone and, accordingly, their replacement, which does not guarantee a good result during the experiment, and a constant change in the design of the cyclone to select the optimal shape and number of blades also requires large resources. In this connection, it was decided to continue studying the influence of local resistances on the dust cleaning efficiency in inertial apparatuses as an example of a countercurrent concentrator with movable blades that change the flow direction, this idea will be described and studied in more detail in my next works or the works of my colleagues on the subject.

Conclusion

As a result of the study, the goal was achieved, namely, recommendations were developed on the work and further research of dust collection devices. In the process of research, the tasks were completed. A review of the latest scientific literature on the study of dust removal processes in inertial cyclone dust separators is carried out, the most promising proposals for improving the design of inertial dust separators based on which the research task was set are identified. The main objective of the study was to obtain a study of the effectiveness of the cyclone apparatus in the presence of local resistance in it, namely, the blades on the exhaust pipe. After that, the assembly, adjustment and testing of the experimental bench was carried out, after which a series of fifteen experiments was carried out. M-400 cement with an average particle diameter of 23-24 μm was used as a dispersed material. The experiments were carried out at an air temperature of 18-20 ° C and a relative humidity of about 50%. The installation without blades on the exhaust pipe turned out to be more effective, due to the high aerodynamic drag and, accordingly, lower speed in the layout with the blades.

In the installation with blades on the exhaust pipe, the flow velocity was 18.35 m / s with a concentration of dispersed material 4.45 g / m³. In a setup using a classical cyclone, the flow velocity was 20.33 m / s at a concentration of dispersed material of 4.02 g / m³. However, this result cannot be considered universal, since the efficiency of dust collection of cyclone apparatus largely depends on the conditions of use (air humidity and temperature), and on the dispersed composition of the polluting substance and gas. Which proves the relevance of further research in the field of cyclone apparatus reconstruction. The study of the influence of local resistances on the efficiency of dust cleaning in inertial apparatus must be continued at plants with replaceable blades to reduce resource costs for the creation of new plants. Similar studies will be described and studied in my next works or the work of my colleagues on the subject.

The economic justification of the project was carried out: the estimated cost of project development and labor costs were calculated.

Harmful and dangerous factors of labor are analyzed, measures of protection against them are developed, working conditions and a microclimate of a working environment are estimated. The issues of safety, fire prevention and environmental protection are considered, recommendations are given for creating optimal working conditions.

The above analysis of the scientific literature shows that quite good successes have been achieved recently in improving dry dust cleaning apparatuses, however, there are many conflicting data on the effectiveness of the same apparatuses, which complicates the analysis and forces the verification of existing experimental data. The lack of feedback between the design organizations and the gas cleaning operation enterprises has led to numerous replication of devices that do not meet both the passport specifications and the increasingly stringent environmental requirements for ambient air quality.

Thus, despite the achievements in the field of gas purification, the problem of creating a relatively inexpensive and effective method of dry dust cleaning leaves the study of inertial apparatus relevant today.

References

1. Weber H.E. Some Theoretical and Experimental Aspects of Head Loss and Separation Efficiency in Cyclone Dust Separation, ScD thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1953.
2. K.V. Nekrasova, A.S. Rasva, E. G. Zikov, M.V. Vasilevsky Estimation of Dust Cohesion for Analysis of Reliability of the Environmental Protective Systems from Dust Pollution.– The Third International Forum on Strategic Technologies, IFOST Novosibirsk-Tomsk, Russia, Session 6 - Environmental Protection and Conservancy, June 23-29, 2008, P.660-662.
3. Kittler R. Neuent Zyklon Bauformen Energieeinsparung bei Staubzentrifugen. –Verfahrenstechnik, 1981, Bd. 15, № 5, S. 370-372.
4. Vasilevsky M.V., Zikov E.G. The characteristics of vertical chambers. –Proceedings. 8-th Corea-Russia International Symposium on scenes and Technology, CORUS, Tomsk, 2004, V 1, P. 314-316.
5. Hukki R.T. and Airaksinen T. A study of the improved pneumatic classification on production of micropowder // Fine Particles Processing. Proceedings of the International Symposium on Fine Particles Processing Las Vegas, Nevada, February 24-28. 1980. V1, P.181–208.
6. Anderson E. Effect of tube diameter in cyclonic dust collectors. – Chem. Eng., 1956, № 10, P.525 –526.
7. Vasilevsky, Mikhail Viktorovich. Determination of tension of friction of piston of dispersible material is in a pipeline [Electronic resource] / M. V. Vasilevsky, A. S. Razva, Ya. Grebenkov // MATEC Web of Conferences. — Les Ulis: 2015. — Vol. 23 : Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. — [01012, 4 p.]. — Title screen.