

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический Институт
Направление подготовки Физика
Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Усовершенствование системы очистки гранулированного полиэтилена

УДК 532.529.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Рыков Владимир Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Разва Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	К. б. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	профессор, д.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический Институт
Направление подготовки Физика
Уровень образования Магистратура
Кафедра ТПТ
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.10.14	Составление обзора литературы по тематике диссертации.	
07.11.14	Описание аппаратов для очистки газов.	
20.12.14	Анализ эффективности газоочистки различных аппаратов.	
11.03.15	Обработка результатов параметрических исследований.	
09.10.15	Анализ факторов, влияющих на эффективность сепарации.	
03.02.16	Проведение испытаний по очистке гранулята	
15.03.16	Проведение испытаний затвора непрерывной выгрузки	
29.05.14	Написание окончательного варианта диссертации	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Разва А.С.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д. ф. – м. н.		

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Энергетический Институт
Направление подготовки Физика
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТПТ

(Подпись) (Дата) Кузнецов Г.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
5ФМ41	Рыков Владимир Юрьевич

Тема работы:

Усовершенствование системы очистки гранулированного полиэтилена	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№10155/с от 28.12.2015

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2016
--	------------

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>	<ol style="list-style-type: none">1) Экспериментальный стенд, скомпонованный из сепаратора, вихревой камеры и рукавного фильтра, предназначенный для очистки гранул полиэтилена высокого давления от волокон, стружки и пыли.2) Путем изменения схемы экспериментального стенда добиться наилучшего результаты очистки.3) Для определения скоростей используется расходомер. Организация потока смеси гранул, примесей и воздуха осуществляется центробежным вентилятором и воздуходувкой.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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) Аналитический обзор литературы по заданной тематике; 2) Постановка задачи исследования; 3) Создание физической модели (задача очистки гранул ПЭВД от волокнистой структуры); 4) Физическое моделирование процесса очистки; 5) Анализ результатов поставленных экспериментов; 6) Анализ целесообразности и рентабельности предложенной конструкции.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация 15 слайдов</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Основной</p>	<p>Разва Александр Сергеевич</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Фигурко Аркадий Альбертович</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич Ольга Алексеевна</p>
<p>Английская часть</p>	<p>Крайнов Александр Валерьевич</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Основные сведения и схемы очистки ПЭВД от стружки</p>	
<p>Общие положения</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>30.09.2014</p>
--	-------------------

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5ФМ41</p>	<p>Рыков Владимир Юрьевич</p>		<p>30.09.2014</p>

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Ст. преподаватель</p>	<p>Разва Александр Сергеевич</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>30.09.2014</p>

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ41	Рыкову Владимиру Юрьевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Теплоэнергетики и теплотехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
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 и инновационного потенциала НТИ	
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.	
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Таблицы оценки вариантов проведения исследования
3. График проведения и бюджет НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	К.Э.Н		19.04.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Рыков Владимир Юрьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ41	Рыкову Владимиру Юрьевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Экспериментальный стенд, скомпонованный из сепаратора, вихревой камеры и рукавного фильтра, предназначенный для очистки гранул полиэтилена высокого давления от волокон, стружки и пыли.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – расчет освещенности помещения и сравнение с нормами СНиП СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 – электромагнитные поля СанПиН 2.2.4.1191-03 – отклонение показателей микроклимата СанПиН 2.2.4.548-96 – статическое электричество ГОСТ 12.1.045–84 –
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	– опасность поражения электрическим током ГОСТ 1516.3-96
2. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы: люминесцентные лампы, твердые бытовые отходы: бумажные, пластиковые); – утилизация люминесцентных ламп и твердых бытовых отходов по регламенту СанПиН 2.1.7.1038-01
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного режима, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– организация рабочей зоны по регламенту ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ41	Рыков Владимир Юрьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 138 страниц, 16 рисунков, 37 таблиц, 31 источник литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН, ВОЗДУХ, СИСТЕМА ОЧИСТКИ, ДИСПЕРСНЫЙ МАТЕРИАЛ, НАСЫПНОЙ СЛОЙ, КРИВОЛИНЕЙНЫЙ КАНАЛ, ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПОТОК.

Объектом исследования является смесь гранулированного полиэтилена и воздуха с добавлением стружки.

Цель работы – Работа посвящена исследованию существующих систем очистки гранулированного полиэтилена и воздуха от пыли и сажи.

В процессе исследования проведен анализ метода очистки смеси гранулированного полиэтилена и воздуха от вредных примесей и его различные вариации.

Разработаны предложения по повышению эффективности очистки гранулированного полиэтилена и воздуха.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Смесь подавалась в установку через входной патрубок, имеющий внутренний диаметр 38 мм. Скорость смеси во входном канале имело максимальное значение $22 м/с$. Центробежный вентилятор, производства НП ООО "Тайра" ВЦ 5-35 №4 3000об/мин., который обеспечивал необходимое разрежение в системе. Общая масса смеси, подаваемой во входной канал, имеет массу 776,4 гр. из которой масса гранулята составляет 768,8 гр., а масса стружки 7,6гр. (10% от массы гранул).

Область применения: Промышленные и гражданские предприятия.

Экономическое обоснование предлагаемой конструкции основано на усовершенствовании различных устройств технологической схемы очистки ПЭВД, не требующей больших финансовых затрат и имеющих небольшой срок окупаемости.

Обозначения и сокращения

ПЭВД – полиэтилен высокого давления; НИИПММ – научно-исследовательский институт прикладной математики и механики; НИИОГАЗ – научно исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов; КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика; Q – производительность установки, $м^3/ч$; V – скорость воздуха в канале, $м/с$; Q – количество воздуха, сбрасываемого через центральный патрубок концентратора, $м^3/ч$; q_1 – количества воздуха, сбрасываемого через циклон, $м^3/ч$; $Q_{ВХ}$ – количество воздуха, входящего в концентратор 1, $м^3/ч$; $C_{ВХ.ПРИМ}$ – содержание примеси в воздухе, $кг/м^3$; $G_{ГР}$ – количество гранулята, $кг/ч$; $C_{ГР}$ – необходимая концентрация гранулята в потоке воздуха, $кг/м^3$; $q_{ОТВ}$ – количество загрязненного потока в циклоне, $м^3/ч$; w_0 – угловая скорость не запылённого потока; V_s, V – окружная скорость жгута и газа; ϕ_s, ξ_s – коэффициенты трения о поверхность жгута и коэффициент аэродинамического сопротивления; S_s – эквивалентная площадь жгута; F_s – силы сопротивления в квадратичной области обтекания; $C_A = 5,31 - 4,88 \cdot \psi$; d_F – диаметр сферической частицы с поверхностью, равной поверхности волокна; $d_\theta = (6r_s^2 l_s)^{1/3}$ – диаметр сферы с объемом, равным объему волокна; ε_s – объемная концентрация частиц в жгуте; ρ_δ – плотность пыли; η_s – коэффициент попадания пыли в жгут; α – угол между скоростью жгута и окружным направлением; H – высота сепарационной части; ΔP – потери давления в циклоне; ρ, w_0 – плотность и скорость газа; ρ_n – плотность насыпного слоя, $кг/м^3$; Р – разгрузитель; ПР – приемник сажи.

Оглавление

Введение	13
1. Основные сведения и схемы очистки ПЭВД от стружки и примесей	14
1.1 Описание технологической схемы очистки полиэтилена	14
1.2 Особенности процессов, определяющие методы очистки полиэтилена и воздуха от пыли и стружки	16
1.3 Характеристика существующих систем очистки воздуха и гранулированных материалов от волокнистых примесей	18
1.3.1 Аппараты для очистки зерновых и гранулированных материалов от примесей	18
1.3.2 Аппараты для очистки воздуха от примесей	23
1.3.3 Аппараты с преимущественно радиальным переносом закрученного потока к выводному каналу	24
1.3.4 Аппараты с преимущественно прямоточным движением закрученного потока	25
1.3.5 Аппараты с преимущественно возвратным переносом закрученного потока	26
1.4 Разработка методов и средств очистки воздуха и гранулированного материала от волокнистых примесей	27
2. Оценка существующих установок по очистке воздуха в производстве ПЭВД от сажи	39
2.1 Характеристика частиц	39
2.2 Характеристика насыпного слоя	46
2.3 Особенности сепарации сажи	48
2.4 Разработка технических решений по повышению устойчивости выделения частиц в установке пневмотранспорта сажи	49
3 Исследование характеристик потока с дисперсной фазой и оценка эксплуатационных показателей экспериментальной установки	54
3.1 Описание экспериментального стенда	54

3.2 Методика проведения эксперимента	58
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
4.1 Оценка коммерческого, инновационного потенциала и научного уровня НТИ	67
4.2 Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, расчет затрат	74
4.3 Материальные затраты	77
4.4 Затраты на оплату труда	78
4.5 Отчисления на социальные нужды	79
4.6 Амортизационные отчисления	80
4.7 Прочие затраты	81
4.8 Накладные расходы	81
4.9 Выводы по главе	81
Список публикаций	85
Список использованной литературы	86

Введение

Для окружающей среды и человека значительную опасность представляют выбросы пылевидных веществ. Выбросы пыли сильно ухудшают экологические условия регионов, вызывают преждевременный износ промышленного оборудования и объектов жилищно-коммунального хозяйства, наносят вред здоровью людей. Особенно остро стоит проблема улавливания выделяющейся с газами тонкодисперсной пыли. Имея малую плотность, она рассеивается и перемещается на большие пространства потоками атмосферного воздуха[1].

Попадая в дыхательные пути человека, частицы пыли размером свыше 5 мкм задерживаются в них, более мелкие частицы проникают в нижние дыхательные пути и способствуют возникновению острых респираторных заболеваний. Тонкодисперсная пыль (частицы размером менее 1 мкм) вызывает тяжелые заболевания, как пневмокониозы.

Радикальными методами снижения загрязнения является усовершенствование в соответствующем направлении основных технологических процессов, внедрение и создание новых установок пылеочистки[2].

Пневмотранспортные установки стали главным элементом технологии транспортирования полимерных гранул. При производстве ПЭВД появляются волокнистые примеси, пыль, стружка, которая уменьшает качество конечного продукта. Они загрязняют окружающую среду и товарный продукт.

При существующих способах получения и транспортирования гранулированного полиэтилена важно на конечной стадии транспортировки получить гранулированный полиэтилен свободный от волокон и пыли. Системы очистки гранулированного полиэтилена, которые существуют недостаточно эффективно отделяют примеси от гранул и не очищают воздух от волокнистых примесей.

1 Основные сведения и схемы очистки ПЭВД от стружки и примесей

1.1 Описание технологической схемы очистки полиэтилена

При пневмотранспорте полиэтилена по каналам наблюдается износ гранулированного полиэтилена о стенки труб, так же образуются волокна и пыль полиэтилена. Волокна образуются из-за трения гранул при скольжении их вдоль гладких поверхностей стенок трубопроводов от времени ударов до времени отскоков от поверхности. Пылевидные частицы образуются от поверхностного разрушения поверхности гранул при ударах.

Наличие волокон в грануляте приводит к забивке патрубков выгрузки полиэтилена из бункеров, забивке дозирующих устройств и т.д.

Для того чтоб уменьшить образование волокнистых примесей стенки трубопроводов пневмотранспортирующих агрегатов выполняются с шероховатостями или нарезаются на внутренних поверхностях, это снижает возможность образования волокон, но увеличивает пылеобразование. Для разделения пыли и гранулянта аппараты разгрузки пневмотранспортов изготавливаются в виде устройства "зигзаг", где гранула за счет ударов о стенки, резких изменений направлений движения и расширений сечения устройства начинают терять скорость и выпадать из воздушного потока пневмотранспорта в контейнер, а загрязненный воздух пневмотранспорта попадает на централизованный узел очистки. Сечение в устройстве "зигзаг" выбрали так, что скорости воздуха меньше скорости витания гранулированного полиэтилена и больше скорости витания пыли. Для лучшего обеспыливания и меньшего уноса гранул на очистку, внутри устройства "зигзаг" имеются отбойные лопатки[3].

Система очистки газов в производстве предназначена для очистки отработанной смеси этилена с воздухом, продуктом, образующимся при пневмотранспортировании.

Перед очисткой аэросмеси этилена с воздухом, пылью, продуктом разделяется двумя способами - в сепараторах типа "зигзаг" и в центробежных

отделителях (верхние части циклонов). В сепараторах типа “зигзаг” отделения пылевоздушной смеси от гранулята происходит:

- за счет многократного изменения направления движения смеси из-за встроенных внутри “зигзага” перегородок, а также за счет снижения скорости движения;

- за счет сепараторного воздуха продувки, подаваемого в бункер для дегазации продукта и выходящего через сепаратор в систему очистки воздуха.

В циклонах гранулы за счет сил тяжести и центробежной при входе прижимаются к стенкам циклона, а смесь этилена с воздухом и пылью под избыточным давлением выходит через центральную выводную трубу в систему очистки газа.

Рассмотрим двухступенчатую схему очистки воздуха от пыли[4].

Воздух с пылью от отделителей зигзаг отсеивается вентилятором и направляется в циклоны, где воздух отделяется от крупных частиц пыли, которая из конусов циклонов собирается в воронку.

Пыль, которая накопилась в воронке выводится в металлический ящик. Часть очищенного воздуха, содержащая мелкие частицы пыли полиэтилена, направляется в нижнюю часть фильтра. Воздух с этиленом, проходит через фильтрующую ткань рукавов внутрь каркасов. Очищенный воздух из верхней части фильтра поступает в атмосферу.

Полиэтиленовая пыль садится на внешнюю поверхность рукавов. Через определенные промежутки времени в рукава подают поток продувочного воздуха под давлением, он вызывает тряску рукавов, от этого пыль слетает с рукавов и попадает в конус фильтра. Позже полиэтиленовая пыль шнеком подается на секторный питатель и выгружается в металлический ящик. Из воронок пыль также подается в металлический ящик, которые затем увозятся на склад, где пыль с гранулами полиэтилена “вручную” расфасовывается в мешки, взвешивается и затем отгружается потребителю.

Если производительность вентилятора по отсасываемому воздуху больше, чем суммарное количество пневмотранспортного и продувочного

воздуха, то при повышении разряжения на входе вентилятора по показаниям электровакуумметра более 0,00160 МПа, должен открываться клапан, и тогда дополнительный воздух подсасывается из атмосферы, понижая разряжение на входе вентилятора.

Линии очистки газа от приемных бункеров должны работать постоянно. Соответственно непрерывно работают вентиляторы, соответствующие разгрузочные шнеки рукавных фильтров и секторные питатели.

Также существует одноступенчатая очистка воздуха от бункеров промежуточного хранения.

Запыленный воздух пневмотранспорта под избыточным давлением из верхних частей циклонов направляется по трубопроводам в нижнюю часть рукавного фильтра.

Запыленный воздух, проходя через фильтрующие рукава в каркасы, очищается и из верхушки фильтра попадает в атмосферу. Полиэтиленовая пыль садится на внешнюю поверхность рукавов. С разным временем вовнутрь рукавов подается импульс сжатого воздуха, который вызывает вибрацию рукавов, пыль стряхивается с тканей рукавов и собирается в конусе фильтра. Из конусной части шнеком и секторным питателем выгружается в передвижной контейнер[5].

1.2 Особенности процессов, определяющие методы очистки полиэтилена и воздуха от пыли и стружки

В производстве полиэтилена высокого давления можно наблюдать примеси в виде стружек, волокнистых образований, пылевидных веществ, которые ухудшают качество конечного продукта. Они загрязняют конечные продукты и воздух.

Гранулы полиэтилена при транспортировании, перемешивания наэлектризовываются и адсорбируют на поверхности пыль. Сила прилипания маленьких частичек зависит от их размера, влажности воздуха, степени электризации. Сила прилипания растет, как и увеличение времени

соприкосновения и становятся максимальными за время больше 1 минуты. Сила зависит от площадей контакта, она при этом зависит от размеров и формы частицы.

Отрыв частиц воздухом с поверхности гранулы напрямую связано с размером гранул, внешней формы частиц, скоростью их обтекания. При отгибании слоя с прилипшими частицами возможно удаление частиц на верхней поверхности, а при сильных инертных силах, воздействующих на зерно полиэтилена, и отрыв слоя.

Трудности, возникающие при очистке гранул от примеси определяют особенности конструкций аппаратов, предназначенных для удаления примеси из полиэтилена. Обязательными условиями удаления примеси должны быть следующие: движение гранул в аппарате с малой концентрацией, придание гранулам значительных ускорений для отрыва частиц с последующим их удалением потоком обтекающего воздуха. Поэтому аппараты, предназначенные для очистки гранул, должны иметь достаточно большие размеры для рассредоточения гранул в объеме, должны иметь элементы для придания гранулам значительных ускорений воздухом (повороты, расширения, грохоты, ударные приспособления)[6].

Другие методы очистки гранулированных материалов, например, промывание слоя гранул жидкостью, флотационные процессы требуют анализа их пригодности применительно к существующей технологии производства полиэтилена.

Эффективность отделения частиц воздушным потоком от гранул, связано с размерами, формой, плотностью частиц. При маленьких скоростях движений относительно несущих сред, частицы могут ориентироваться любым образом относительно направления своего движения. При достижении критического значения режима обтекания, когда поток станет турбулентным, характер движения меняется. Вытянутые частицы вынуждены принимать положение, в котором противодействие среды являлось бы наибольшим для пластинчатых, чешуйчатых поверхностей, и т.п. это будет тем положением, в котором

расположение их граней и более длинных ребер расположено перпендикулярно вектору движения.

Сопrotивление частиц направленной формы при движении их относительно несущего потока зависит от размеров, формы, режима обтекания несущей средой. Для лентообразных чешуйчатых частиц коэффициент формы во много раз больше единицы. Особенно малой подвижностью обладают вытянутые частицы.

Особенность поведения частиц, отличающихся от шарообразной формы, определяет конструктивные особенности аппаратов для отделения частиц от несущей среды. Например, в центробежных циклонных пылеотделителях поведение частиц носит случайный характер, т.к. из-за больших градиентов несущего потока турбулентности, частицы деформируются, сворачиваются в жгуты, и, взаимодействуя между собой, образуют скопления, приводящие к забивке разгрузочных устройств. Поэтому для увеличения эффективности и надежности работы газоочистных аппаратов, применяют устройства последовательно отделяющие лентообразные, волокнистые пыли и оставшуюся пыль, обладающую лучшей сыпучестью[6,7].

1.3 Характеристика существующих систем очистки воздуха и гранулированных материалов от волокнистых примесей

1.3.1 Аппараты для очистки зерновых и гранулированных материалов от примесей

Аппараты для очистки зерновых и гранулированных материалов отличаются большим конструктивным разнообразием.

На рисунке 1 приведена схема барабана грохота для очистки гранулированного полиэтилена от пыли и стружки. Гранулят с примесью поступает по лотку во вращающийся барабан 1, через ячейки которого гранулы проходят в канал, подающий полиэтилен из загрузочного устройства на грохот 2. Подина грохота колеблется с частотой 25 Гц и амплитудой 2 мм.

Предварительно очищенный гранулят от крупной примеси и пыли, на грохоте равномерно распределяется по его поверхности и частично стряхивает с поверхности пыль.

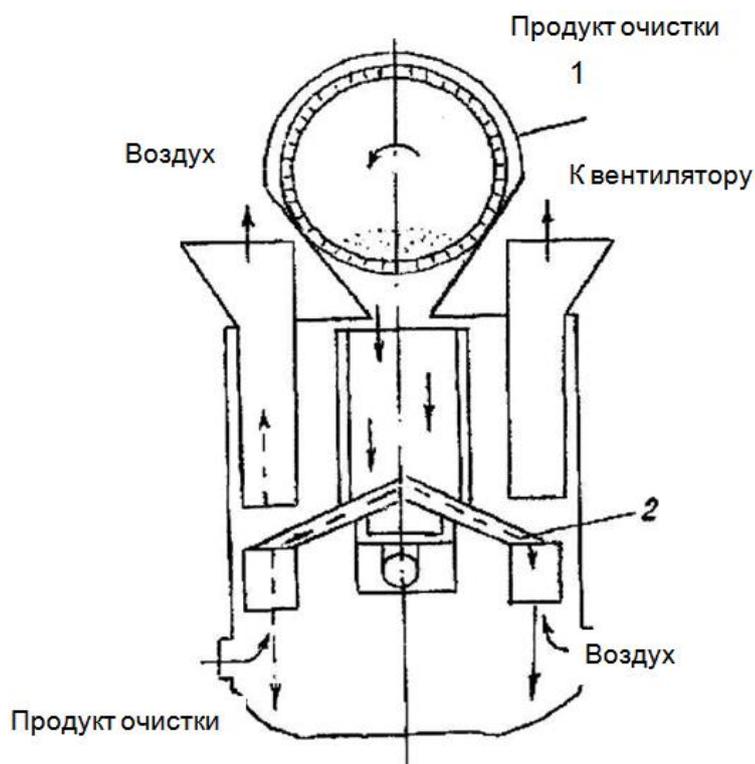


Рисунок 1 – Схема очистки гранулированного полиэтилена с помощью грохота.

Попадая в ячейки-каналы грохота, гранулы полиэтилена обдуваются вентиляционным воздухом, обозначенным на рисунке 1 пунктиром. Разрежение в корпусе аппарата для создания необходимого потока воздуха должно быть не менее 10 мм.в.ст. (100 Па). Крупная примесь задерживается в барабане, сворачивается в жгут и по мере накопления выводится с торца барабана со стороны загрузки загрязненного полиэтилена в бункер-сборник стружки. Для предотвращения забивания ячеек барабана стружкой по длине барабана с внешней стороны установлено щелевое отверстие, через которое от вентилятора высокого давления поступает с большой скоростью воздух через ячейки барабана[7,8].

Опыт эксплуатации грохота-барабана показал некоторые отрицательные моменты, влияющие на снижение эффективности очистки гранул, следовательно, влияющие на качество гранулированного полиэтилена. Большое

количество пыли вместе с гранулами проходит через крупные ячейки барабана, причем попадает и волокнистая пыль в виде лент длиной 10 мм, которые при обдувке гранулята, и, следовательно, снижение расхода продувочного воздуха. Стружка в виде жгутов не поступает в емкости, а висит в выводных патрубках и по мере накопления в торцевой части барабана она снова попадает в гранулят. Герметизация окон, люков по мере эксплуатации аппарата нарушается, и возникающие подсосы ухудшают, обдув гранул от пыли. Поэтому качество гранулированного полиэтилена оказывается ниже требуемого.

Для очистки зерновых материалов от примесей также используются различные схемы классификаторов с восходящими потоками.

За рубежом была разработана конструкция классификатора, получившая название зигзаг-классификатор (рисунок 2).

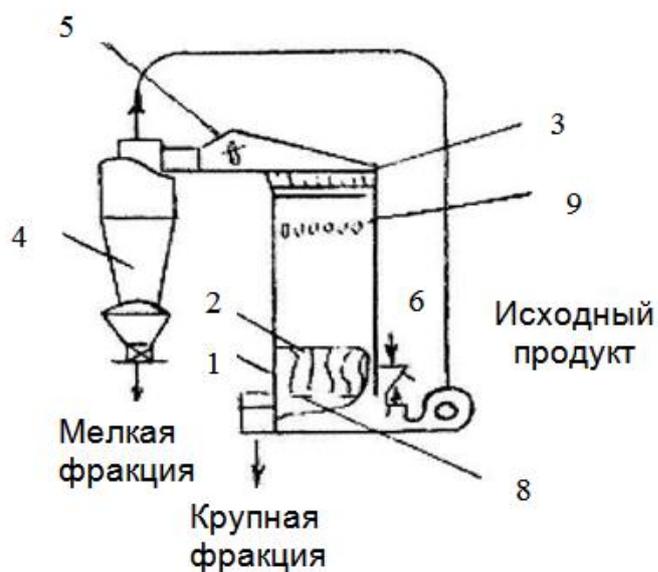


Рисунок 2 – Зигзаг-классификатор

Рабочее пространство зигзаг-классификатора состоит из ряда параллельных зигзагообразных каналов. Исходный материал поступает в перфорированный желоб, материал выдувается в зигзагообразные классифицирующие каналы, где происходит отделение мелочи от крупных частиц. Мелочь удаляется в циклон. Установка может работать по замкнутому контуру, поэтому дополнительных приспособлений для очистки газа не

требуется. В аппарате “зигзаг” отделение примеси от крупнозернистого материала происходит вследствие сравнительно плавных поворотов материала, в каскадном аппарате обдув происходит в результате внезапного расширения потока, резких поворотов и многократной циркуляции материала в области контакта с неподвижными поверхностями.

Также широко применяются схемы воздушных сепараторов зерновых материалов. Рассмотрим воздушный сепаратор, состоящий из питающего устройства очистки воздуха после сепарации. Канал представляет собой вертикальную цилиндрическую трубку, нижнее отверстие которой с помощью диффузора соединяется с вентилятором. На входном отверстии диффузора устанавливается сетка. Зерно по лотку поступает на сетку и, перемещаясь, продувается воздушным потоком и выводится из канала по лотку.

Анализ показывает, что наиболее эффективной для цели очистки гранулированного полиэтилена от примеси может быть следующая схема. Полиэтилен из транспортной линии поступает в разгрузитель, откуда гранулы с примесью поступают во вращающийся перфорированный барабан. Гранулы с мелкой примесью поступают в каскадный классификатор, где при многократной циркуляции гранулята в каждой секции происходит интенсивная очистка полиэтилена от пыли, причем обдувка примеси осуществляется воздухом из транспортной линии после разгрузителя. Далее воздух с примесью поступает в центробежный пылеотделитель циклонного или циклонно-роторного типа. Если требуется дополнительная продувка очищенного полиэтилена, то каскадный классификатор можно выполнить двухступенчатым, причем первая ступень рассчитывается на расход транспортного и продувочного воздуха. Представляет интерес использование каскадного классификатора, работающего по замкнутому контуру по воздуху с применением дополнительного нагнетателя, т.к. расширяется диапазон регулирования процесса очистки, уменьшается общее сопротивление системы транспорта. В этом случае газоочиститель ставится после разгрузителя и в контуре классификатора. Чтобы не происходило накапливание этилена в контуре, часть воздуха отводится на продувку в

газоочиститель после разгрузителя. Недостатком такой схемы является громоздкость и энергоемкость. Длинные волокна в обоих вариантах задерживаются в барабане, сворачиваются в жгуты и выводятся в специальный лоток и бункер-накопитель.

Представляет интерес для очистки гранулята использовать также аппараты циклонного типа. В этих аппаратах отвеивание примесей происходит за счет рассредотачивания в объеме и интенсивного переноса примеси от периферии к центру. Для проверки этого факта на экспериментальном стенде испытания пылеотделителей НИИПММ были проведены опыты по выявлению характера распределения гранулированного полиэтилена и примесей в бункере с различной степенью продувки. Было выяснено, что основная масса длинноволокнистых примесей концентрируется в центральной зоне бункера в виде жгута свободного от гранул полиэтилена. Гранулы расположены по периферии бункера с различным содержанием мелкой примеси, причем количество примеси зависит от степени продувки бункера. В то же время от степени продувки обнаружено уменьшение эффекта пылезадержания циклонной ступенью газоочистителя. Опытты носили качественный характер, более детально исследования закономерностей отделения длинноволокнистой пыли от гранулированного полиэтилена позволили разработать устройства для очистки гранулированного полиэтилена в объеме циклонного аппарата. В одном из вариантов схемы очистки гранулированного полиэтилена циклонный разгрузитель концентрирует гранулы на периферии сепарационного объема, стружка и пыль находятся в приосевой области[9,10].

В бункере гранулы сыпаются по лотку на дополнительную очистку в каскадный классификатор, стружка из центральной части удаляется специальным скребком. Достоинством этой схемы является комплектность, т.к. отсутствует промежуточное звено для отделения длинноволокнистых примесей, недостатком является необходимость применения скребковых аппаратов для выведения стружки.

1.3.2 Аппараты для очистки воздуха от примесей

В отечественной технике для очистки газов от волокнистой пыли используются различного типа металлические и капроновые сетчатые фильтры, обладающие незначительным гидравлическим сопротивлением при воздушной нагрузке до 100000 м³/час, причем капроновые сетки оказались прочнее на истирание, по сравнению с хлопчатобумажной фильтрующей тканью, а степень пылезадержания у них выше, чем у металлических. Сетчатые фильтры используют в качестве первой ступени очистки.

Для улавливания обычной пыли наиболее часто применяются циклонные устройства и тканевые фильтры очистки газа. Эффективность циклонов приблизительно одинакова при концентрации пыли до 50 г/м³. Эффективность осаждения частиц диаметром 5 мм при производительности 5000 м³/час в зависимости от типа циклона составляет 60-80%. Для использования фильтров тонкой очистки нужно использовать регенирующие устройства, которые удаляют пыль с фильтрующей поверхности.

Для очищения воздуха от полиэтиленовой пыли также применяются карманные фильтры, имеющие удельные фильтрующие поверхности ткани (полимерное руно) 1,2 м²/м³мин., что позволяет проводить процесс очистки при скоростях фильтрации менее 0,2 м/с. При расходе воздуха 250 м³/мин сопротивление фильтра достигает 2500 Па значительное сопротивление системы вентилирования гранул потребовало применение вентиляторов с числом оборотов 2900 об/мин.

В процессе эксплуатации карманных фильтров выяснились общие характерные недостатки тканевых фильтров: быстрый износ, повреждение полиэфирного руна при регенерации, забивание волокнистой пылью промежутков между карманами, что ухудшает процесс регенерации ткани и, как следствие, уменьшение пропускной способностью фильтра.

Последнее время все больше применение находят системы очистки газа с циклонами, использующимися в качестве пылеконцентраторов. В этом случае

циклоны могут ставиться параллельно, так как гидравлическая уравновешенность по сопротивлению элементов позволяет эффективно проводить процесс сепарации в каждом элементе.

1.3.3 Аппараты с преимущественно радиальным переносом закрученного потока к выводному каналу

1. Аппарат Skimmer - разгрузитель с отводом пыли в периферийный приемник. Аппарат Skimmer представляет собой улиточную камеру, в которой запыленный поток совершает поворот на 180 градусов, пыль концентрируется у обтекаемой поверхности и с частью потока поступает в приемник, газ из приемника выходит в газопровод чистого газа. Внутри камеры расположен радиальный спрямляющий аппарат, через который поток выходит в газопровод чистого газа. Гидравлическое сопротивление не превышает 500 Па. Аппарат разгружает поток от крупных частиц (пыль с медианным размером частицы 98 мкм улавливаются с эффективностью 0,85) [10,11].

2. Аппарат Карпуховича – аппарат выполнен в виде улитки. Улавливает пыль в отдельный концентратор пыли с отдельным циклоном осадителем частиц. В аппарате Карпуховича основной поток разворачивается на 270 градусов, пыль попадает в циклон осадитель. Поток выводится также через закрученный направляющий аппарат. Сопротивление меньше 600 Па. Пыль со средним размером частиц 28 мкм улавливаются с эффективностью 85%. Часто используют как самостоятельный пылеуловитель. Существуют устройства с закручиванием потока в выходной улитке вентилятора уловителя пыли, в котором газ с пылью движется в приоткрытом канале, где осуществляются вихри первого рода, которые уменьшают эффективность отделения частиц. Следующим этапом усовершенствования пылеуловителей данного типа стала исследование дымососов - пылеуловителей с отделением потока от гранул перед рабочим колесом.

3. Разгрузитель – уловитель пыли (использующийся в НИИ ПММ), через отдельный приемник пыль проходит большое количество раз, поскольку

имеющийся воздушный замок содействует возвращению частиц пыли в приемник. В разгрузителе НИИ ПММ закручивающее направляющее устройство отсутствует. На выхлопном патрубке окружные скорости, ускорения максимальны, в зоне, расположенной рядом с осью возникает обратное течение, оно расходится до крайнего края камеры. Таким образом, на выходном патрубке появляется вихревой "замок", не дающий проход частицам установленной величины в зоне разделения, подобно механическому ротору. Противодействие устройства больше 1000 Па. Пыль со средним размером частицы 20 мкм ловятся с эффективностью 83%.

4. Разгрузитель - пылеуловитель с выносным циклоном. Используется вариант со второй ступенью обеспыливания, в которой энергия закрученного потока на выходе из улиточного аппарата реализуется для сепарации частиц в прямоточной ступени. Теоретическая оценка пылезадерживающей способности основана на расчете траекторий частиц, которые пересекают пылевыводящую щель, либо рассчитывается граничный размер частицы, траектория которой зациклена в области выходного патрубка [12].

1.3.4 Аппараты с преимущественно прямоточным движением закрученного потока

В прямоточных сепараторах закрутка проводится либо лопаточным, либо боковым (тангенциальным, улиточным) вводом. Концентрат пыли транспортируется газом к щели, сообщающейся с приемником. Пыль попадает в приемник через щель путем инерционного заброса крупных частиц при обтекании щели потоком или путем транспортирования частиц малой долей потока. Очищенный поток выходит в центральный патрубок. При малых крутках потока окружная компонента скорости на оси равна нулю, увеличивается с увеличением радиуса до максимального значения и далее незначительно уменьшается, осевая компонента деформирована незначительно. При сильных крутках основной поток движется в периферийной области; за счет эжекционных эффектов формируется обратный кольцевой поток, который разворачивается в

сторону газывыводящего патрубка, в приосевой области также возникают возвратные течения[11].

1.3.5 Аппараты с преимущественно возвратным переносом закрученного потока

Противоточные циклоны. В этих аппаратах зона разделения частиц по крупности реализуется по высоте. Существует большое разнообразие конструкций аппаратов - циклонных обеспыливателей с противоточным движением аэрозоля. В циклоне НИИОГАЗ (ЦН) газовый поток с взвешенными в нём частицами со скоростью 15-25 м/с вводится через тангенциально расположенный патрубок в корпус с винтовой крышкой. Огибая выхлопную трубу, поток в виде вращающейся нисходящей спирали направляется по цилиндрической, а затем конической поверхности вниз к пылевому отверстию, большая часть потока под влиянием разности давлений направляется к выхлопной трубе. Основная часть взвешенных в газе частиц отбрасывается к стенке циклона, собирается в жгуты и вместе с частью газового потока движется вниз, проходя через пылевыпускное отверстие в бункер циклона. В бункере завихренный поток меняет своё направление и теряет скорость, вследствие чего происходит выпадение сгустков частиц. Освобождённые от частиц газы, присоединяя к себе части потока, отделяющиеся от нисходящей спирали, движутся по восходящей (внутренней) спирали к выхлопной трубе. Существенное влияние на процесс очистки оказывает турбулентность, которая во многом определяет степень очистки. Поток, поступающий в выхлопную трубу, продолжает интенсивно вращаться. Затухание этого вращательного движения, связанного с невозполнимыми потерями энергии, происходит сравнительно медленно. Для устранения вращательного движения на выходе из циклона и уменьшения гидравлических потерь иногда применяют устройства - раскручиватели с диффузорным эффектом. Для обеспечения эффективности следует обращать внимание на герметичность пылевого затвора. В случае возникновения подсосов потоки в бункере усиливаются, уменьшается поток с

отсепарированными частицами в бункер и увеличивается вынос частиц из циклона. Допускаемая концентрация пыли в очищаемых газах зависит от свойств пыли и диаметра циклона. При очистке газов от неслипающейся пыли в циклонах диаметром 800 мм, и более её содержание в газах не должно превышать 2,5 кг/м³, для циклонов меньшего диаметра концентрация пыли в газах должна быть меньше. При больших концентрациях пыли, а также в случае улавливания слипающейся пыли, возможно забивание пылевыводного отверстия, что приводит к нарушению нормальной работы аппарата[13].

1.4 Разработка методов и средств очистки воздуха и гранулированного материала от волокнистых примесей

Схема отделения гранулированного материала от примеси с помощью сепаратора типа “зигзаг” имеет два негативных момента. Во-первых, при достаточно сильном разрежении может происходить захват гранул с пылью и выведение их в систему очистки воздуха. При этом потери могут составить около 50 % от объема всего гранулированного полиэтилена, прошедшего очистку через “зигзаг”. Для предотвращения этого явления на линии всаса вентиляторов установлены заслонки, которые при достижении определенного уровня разрежения начинают приоткрываться и подсасывать воздух из атмосферы. Однако этот метод не позволяет предотвратить потери полностью и какое-то количество гранулята все равно выходит в систему пылеочистки. Во-вторых, стружка в виде жгутов не поступает в бункер накопления гранулята, а застревает в выходных патрубках. При этом вся система очистки гранулированного полиэтилена останавливается, а рабочим приходится очищать сепаратор вручную.

Пылеочистка с использованием циклонов и рукавных фильтров также имеют негативные моменты. Несущая способность циклона со временем уменьшается, и, в конце концов, циклон забивается, и работа останавливается. Поэтому необходим постоянный контроль за состоянием циклона, а его обслуживание требует ручного труда.

Еще один негативный момент — это то, что при аварийной остановке воздух, содержащий пыль, выбрасывается непосредственно в атмосферу без очистки. Аварийная остановка системы очистки газов производится в следующих случаях:

- при отключении электроэнергии;
- при пожаре, взрыве;
- при прекращении подачи сжатого воздуха КИПиА;
- при резком увеличении гидравлического сопротивления газопылеулавливающего оборудования (фильтров, циклонов);
- при отключении вентилятора;
- при прекращении регенерации фильтров;
- при пылении через неплотности оборудования и воздухопроводов – вследствие хлопка в фильтре;
- при увеличении выбросов в атмосферу, которое может возникнуть в результате отрыва или износа рукавов;
- при перегрузке циклонов пылью;
- при потере фильтрующих свойств рукавов.

В результате проделанного анализа литературы и патентной документации для повышения эффективности было предложено устройство под названием установка комплексной очистки. В этой установке существует несколько ступеней очистки (рисунок 3).

1. Первая ступень – центробежный сепаратор. Гранулированный материал очищается в центробежном сепараторе за счет самого транспортирующего потока. В верхней части сепаратора находится криволинейный канал, внизу – щель. В эту щель поступает очищенный гранулят. Пыль и стружка прижимается к стенке, выходит с потоками по направляющей к заслонке в центр вихря и выносятся.

Ниже канала там, где вводится поток продувочного воздуха, имеется отражатель вынужденного вихря, на котором формируются радиальные токи, которые осуществляют доочистку гранулята.

2. Вторая ступень – вихревая камера. В вихревой камере воздух при вихрестокке движется к выходному патрубку, а частицы центробежными силами концентрируются у стенки и выходят в пылевыводной патрубком. Процесс построен таким образом, что в потоке присутствует некоторое количество гранулята, который препятствует налипанию частиц на стенки. Несущая транспортирующая способность сохраняется максимальной во всей области сечения, поэтому забивки и зависания примеси в концентраторе не наблюдается.

3. Третья ступень - фильтр. В фильтре улавливается все то, что не задержалось в сепараторе и вихревой камере. Фильтр играет важную роль после проведения эксперимента, когда сводится массовый баланс.

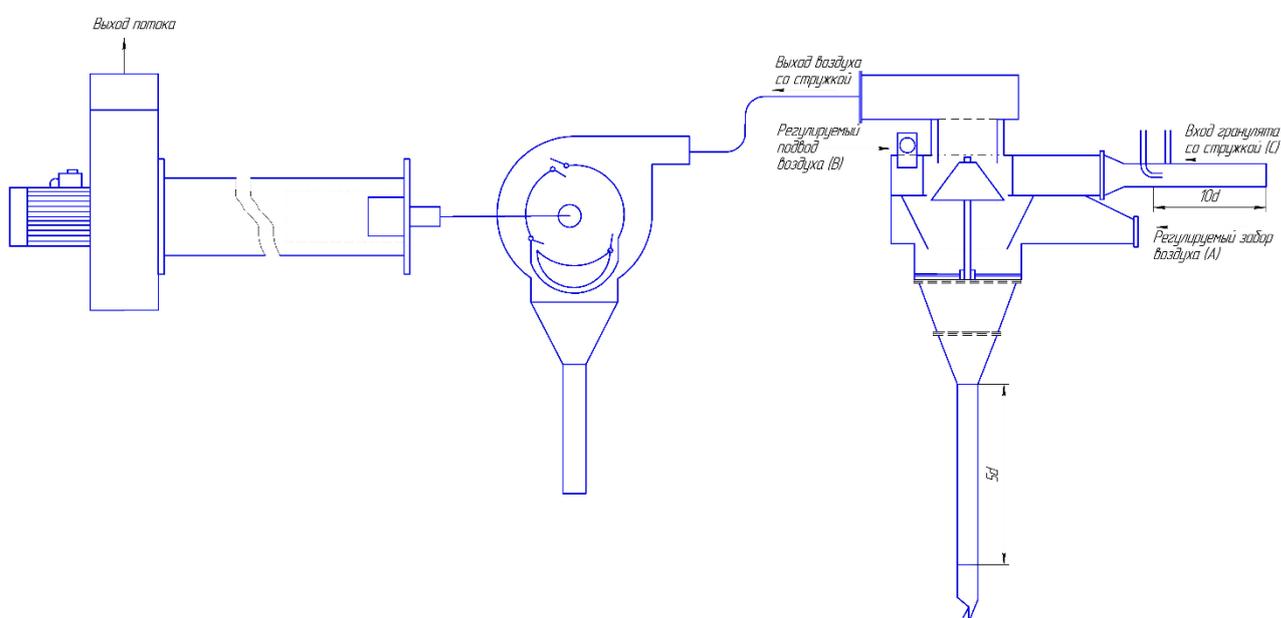


Рисунок 3 – Установка комплексной очистки

В системах пылеулавливания часто возникает необходимость возврата уноса в технологию. Преимущество непрерывного удаления – отсутствие переуплотнения при слеживаемости материала, которое возникает при периодическом удалении. Для непрерывного удаления отсепарированной пыли из приемника предлагается применить затвор непрерывной выгрузки. К непрерывно действующим относятся мигалки с конусным или плоским клапаном, двойные пылевые затворы с электроприводом, шлюзовые питатели, а также некоторые виды конвейеров. К периодически действующим относят

шиберные и шаровые затворы. Недостатком устройств непрерывной выгрузки является непостоянство режимов течения материала, его зависание в устье затвора, а при удалении материалов с повышенной адгезией появляется необходимость увеличения выгрузного сечения из-за сводообразования и переуплотнения сыпучего материала, и соответственно, увеличении высоты запирающего столба материала [22].

Для повышения стабилизации выгрузки материала предлагается устройство, представленное на рисунке 4. На шарнире 2 подвешена пластина 1. В закрепленной пластине 4 имеется отверстие 3. Материал из емкости ссыпается в отсек, расположенный ниже пластины 4, и усилием бокового давления выводит пластину 1 из вертикального положения. Давление газа по высоте слоя в указанном отсеке оказывается одинаковым и свод не образуется. По мере опорожнения отсека, расположенного ниже пластины 4, пластина 1 возвращается в вертикальное положение и перекрывает выгрузное окна наконечника.

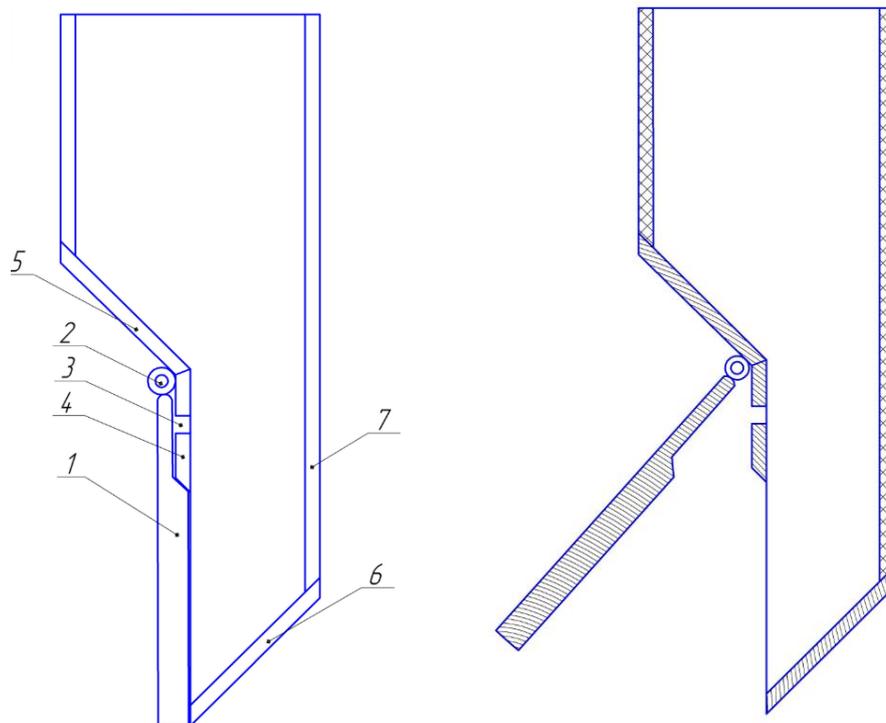


Рисунок 4 – Устройство для повышения стабилизации выгрузки материала (затвор непрерывной выгрузки).

За счет нарастающего момента силы, действующего на пластину 1 при давлении небольших порций материала, эта пластина находится в отклоненном положении, причем перепад давления газа по высоте слоя в отсеке определяется площадью зазора, образованного при частичном перекрытии отверстия 3. Чем больше отклонение пластины 1 от вертикального положения, тем больше зазор, тем интенсивнее истечение материала из отсека и, наоборот, чем медленнее материал выходит из отсека, тем интенсивнее поступает в отсек. Пластина 1 находится в колебательном движении.

На рисунке 5 изображено устройство, которое может быть использовано в качестве центробежного сепаратора. Данное устройство состоит из улиточного корпуса 1 с приёмником 2 очищенного материала, в котором закреплена коническая втулка в виде подвижного отражательного конуса 3, большое основание которого находится в конической обечайке 4. Под основанием корпуса 1 установлена улиточная камера 5 дополнительной продувки, охватывающая коническую обечайку 4, с образованием щели 6, сообщённой с приёмником 2. К верхней стенке корпуса 1 прикреплена криволинейная пластина 7, охватывающая патрубок для вывода примесей. В корпусе 1 расположена шторка с полкой 8 и шарнир 9. К корпусу прикреплены патрубки 10 и 11, а к камере 5 - продувочный патрубок 12 дополнительного воздуха.

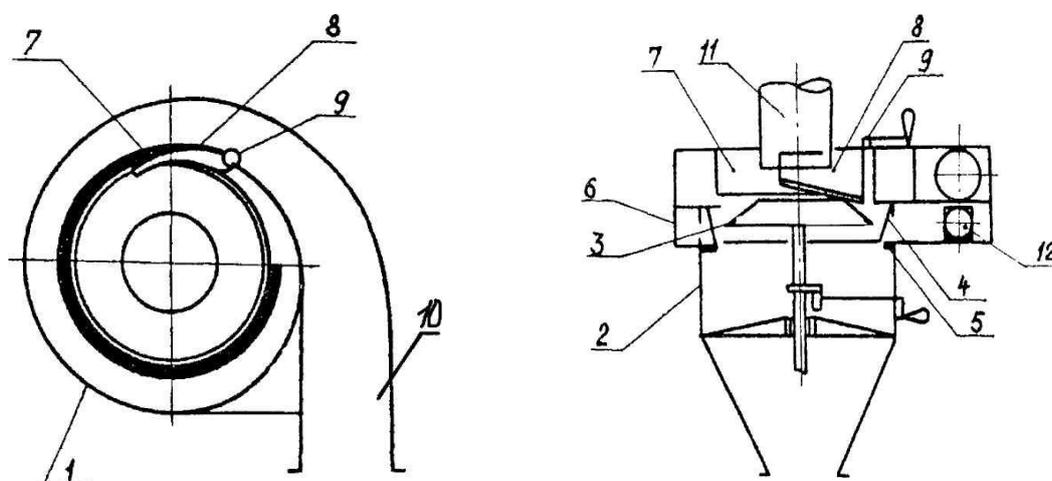


Рисунок 5 – Центробежный сепаратор

Устройство работает следующим образом [3].

Материал с примесью из патрубка 10 транспортируется в канале переменного сечения, образованного криволинейной поверхностью корпуса 1 и пластиной 7. Зерновой материал за счёт взаимодействия со стенками канала и магнусовых сил распределяется по сечению равномерно, тогда как примесь сепарируется на криволинейную поверхность канала. Материал по ходу потока через зазор между нижней стенкой корпуса 1 и пластиной 7 сдувается воздухом на отражательный корпус 3, откуда он попадает на поверхность обечайки 4 и затем в приёмник 2. Продувочный воздух в количестве 5-20 % от транспортного подаётся через продувочный патрубок 12 в камеру 5, где распределяется равномерно по окружности. Продувочный газ многократно обдувает сыпучий материал и запирает транспортный вихрь в корпус 1, препятствуя его проникновению в приёмник 2. Крупная примесь из транспортного канала по криволинейной стенке и посредством шторки с полкой 8 выводится в патрубок 11, мелкая примесь сдувается с гранул струёй транспортного газа, натекающей через зазор между пластиной 7 и стенкой корпуса 1, а также многократным воздействием продувочным воздухом. Таким образом, установка пластины 7 обеспечивает лучшую транспортирующую способность, более интенсивное обдувание гранул при электростатической адгезии на них пыли; установка обечайки 4 и камеры 5 обеспечивает равномерную подачу по зазорам продувочного воздуха, многократно обдувающего пересыпающиеся гранулы и запирающего транспортный вихрь в корпусе 1, что позволяет надёжно проводить отсеивание в широком диапазоне положения отражательного конуса 3 при высоких концентрациях продукта в транспортной магистрали и условиях электризации материала.

Были проведены лабораторные испытания данной установки производительностью $89,8 \text{ м}^3 / \text{ч}$ (при максимальной скорости воздуха во входном канале $22 \text{ м} / \text{с}$) и концентрации продукта в транспортной линии $0,44 \text{ кг} / \text{м}^3$ воздуха.

Эффективность работы сепаратора оценивалась по степени удаления из исходного продукта стружки, пыли и мелких гранул, а также по величине потерь гранул.

На основе исследований были разработаны простые, компактные и надежные устройства для очистки воздуха от примеси.

На рисунке 6 изображено устройство для очистки газа от пыли, которое может использоваться в качестве пылеконцентратора в установке комплексной очистки [4]. Предлагаемое устройство содержит спиральный газоход 1 прямоугольного сечения с изогнутыми наружной 2 и внутренней 3 боковыми стенками, верхней 4 и нижней 5 стенками, отвод очищенного газа в виде продольной щели 6, выполненной во внутренней стенке 3, центробежный пылеосадитель 7, присоединенный к пылеотводному каналу 8, расположенному у наружной стенки 2 на выходном конце газохода 1. Продольная щель 6 выполнена на расстоянии α , соответствующему углу $\pi/4$ от входа газохода 1. Высота щели 6 составляет 0,2-0,25 высоты h внутренней стенки 3 в каждом сечении, площадь поперечного сечения пылеотводного канала 8 составляет 0,3-0,5 площади поперечного сечения входного конца газохода. Пылеосадитель снабжен вытяжным вентилятором 9, нагнетательный патрубок 10 которого присоединен к входу газохода 1 у наружной стенки 2.

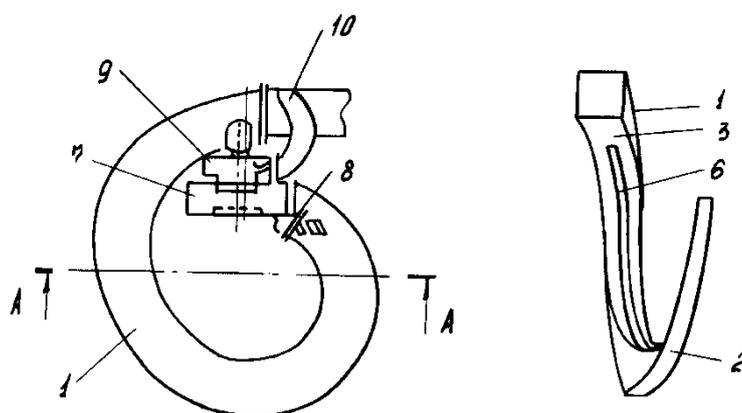


Рисунок 6 – Пылеконцентратор

Газовый поток с примесью под небольшим напором 0,3-0,6 кПа поступает в газоход 1, где частицы за счет центробежных сил концентрируются у периферийной поверхности боковой стенки 2, газ в количестве 85-95% стекает в щель 6, а остальная часть газа вместе с примесью выходит в осадитель 7. На расстоянии от входа, соответствующем углу поворота потока на $\pi/4$, происходит ускорение, стабилизация потока и предварительная сепарация частиц, т.е. оттеснение их от внутренней криволинейной поверхности стенки 3. В последующих сечениях транзитная скорость остается постоянной за счет уменьшения проходного сечения и вытекания газа через щель 6. Давление газа оказывается достаточным во всех сечениях канала, чтобы способствовать выходу газа по всей длине щели 6 со скоростью, близкой к транзитной скорости потока вдоль газохода, при высоте щели 6 в каждом сечении 0,2-0,25 высоты стенки 3. Значение транзитной скорости в пределах 8-20 м/с во всех сечениях канала способствует надежному транспортированию примеси, склонной к налипанию на поверхности.

Перемещение газа к щели во всех сечениях осуществляется с малыми скоростями, которые незначительно влияют на перенос частиц к щели. Поперечные циркуляционные сечения в большей мере способствуют переносу частиц к щели, однако из-за искривлений линий тока газа, подтекающего к щели, частицы могут вторично пройти стадию сепарации и сконцентрироваться у периферийной поверхности. Уменьшение высоты газохода позволяет существенно уменьшить поперечное сечение пылеотводного канала 8 по сравнению с сечением на входе в газоход и, следовательно, уменьшить количество отведенного с примесью газа в осадитель 7 без нарушения сепарации, при этом наилучший результат достигнут при его величине 0,3-0,5 площади поперечного сечения выходного конца газохода[13].

В осадителе 7 поток во вращательном движении освобождается от примеси, которая осаждается в приемнике, и поступает по центрально расположенному патрубку в вытяжной вентилятор 9 с вращением крыльчатки в сторону, обратную направлению вращения потока в осадителе 7.

Предложенное устройство позволяет приблизительно в 2 раза уменьшить выбросы примеси по сравнению с известными ранее пылеочистными устройствами, эффективно проводить очистку газов от примесей, склонных к налипанию на поверхности, и, кроме того, экономить производственные площади и металл на изготовление газоочистки.

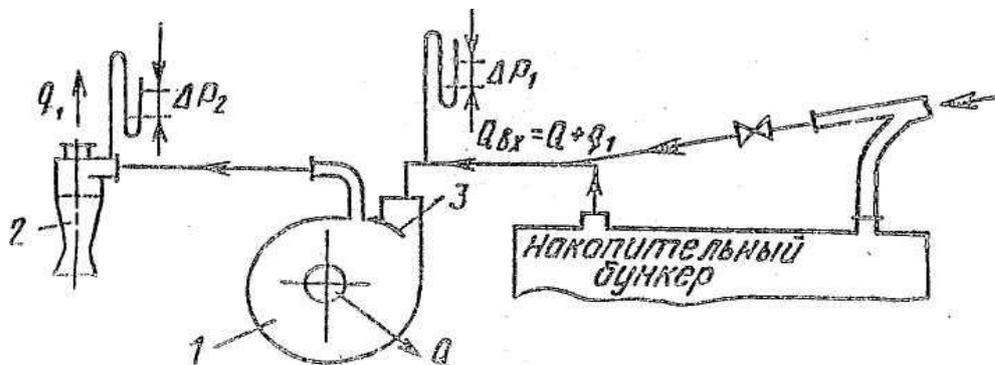


Рисунок 7 – Способ сепарации из воздушного потока наэлектризованной полимерной примеси

Также известен способ очистки газа от наэлектризованной примеси, который иллюстрирован на рисунке 7 [5]. Способ осуществляется следующим образом.

Примесь в виде волокон, пыли с воздухом подают в концентратор 1, имеющий спиралевидный кожух, где поток подвергается воздействию центробежных сил, при этом примесь сепарируется на стенке кожуха. Далее она транспортируется в отделитель (циклон или другой известный осадитель) 2, где выделяется из потока.

Большая часть очищенного воздуха с расходом Q выходит из центрального патрубка концентратора 1. Для улучшения процесса сепарации, т.е. предотвращения образования наэлектризованных жгутов примеси и зависания их в циклонах, в очищаемый воздушный поток предварительно вводят, например, посредством эжекторного питателя или иным способом полимерный гранулированный материал в количестве, в 1-10 раз превышающем содержание примеси. Поток направляют со скоростью 20-25 м/с вдоль криволинейной поверхности. Соотношение расходов очищенного и отводимого загрязненного

потоков устанавливают из условия содержания примеси в отводимой загрязненной части потока в пределах 1-10 г/м³.

При скорости потока 20-25 м/с гранулы за счет сил упругости, Магнуса и центробежных интенсивно ударяются криволинейную поверхность, “размывают” жгуты, диспергируют сгустки примеси, а примесь равномерно распределяется поперек потока и за счет электрических сил входит с поверхностью в контакт. При скорости потока выше 25 м/с наблюдается унос гранулята в атмосферу. Количество гранулята должно быть таким, чтобы были охвачены все участки "обстрела" криволинейной поверхности и осуществлялось интенсивное взаимодействие с примесью, причем количество вводимого гранулята зависит от содержания в примеси волокон, стружки, сгустков и их размеров.

По мере движения потока газа вдоль криволинейной поверхности концентратора и концентрирования примеси на поверхности образуется подстилающий слой из частиц примеси, который уменьшает рикошетирующие частицы гранулята, движущихся с незначительной амплитудой в прыжковом режиме. Подстилающий слой образуется при концентрации частиц примеси в отводимой части потока более 1 г/м³. При концентрации частиц примеси более 10 г/м³ гранулы застревают в подстилающем слое, увеличивая трение слоя, ухудшается несущая способность потока вследствие его торможения частицами, эффективность сепарации уменьшается, вывод частиц затрудняется. Затрудняется также контакт частиц с поверхностью. Концентрация частиц в загрязненной части потока регулируется количеством отводимого из спирального концентратора газа вместе с частицами примеси, который затем направляется в циклонный осадитель. Очищенная часть газа выводится в атмосферу. В циклонном осадителе вводимый с примесью и гранулами газовый поток закручивается, при этом частицы примеси и гранулята по периферии отводятся из сепарационной зоны, гранулы способствуют выводу примеси в приемник и улучшению текучести смеси при удалении ее из приемной емкости. Очищенный в циклонном осадителе поток выводится в атмосферу, а примесь и гранулы

отправляются на переработку в изделия. При этом наличие гранулята в примеси улучшает ее сыпучесть ввиду того, что частицы больших размеров имеют меньшую поверхность соприкосновения и обладают большей подвижностью. Это облегчает истечение материала из расходных емкостей перерабатывающих машин, увеличивая их производительность.

Контроль количества воздуха, сбрасываемого через центральный патрубок концентратора Q и циклон q_1 соответственно ведется с помощью манометров по перепадам давлений ΔP_1 и ΔP_2 , которые зависят от расходов, а ΔP_1 , кроме того, от положения шибера 3, что определяется тарировкой или расчетом, если поставлены аппараты с известными коэффициентами гидравлического сопротивления.

Заданными параметрами являются количество воздуха, входящего в концентратор 1:

$$Q_{BX} = Q + q_1, (м^3 / ч) \quad (1)$$

и содержание примеси в воздухе $C_{BX.ПРИМ}$ ($кг / м^3$). Количеством воздуха из эжектора пренебрегают. Количество гранулята, которое необходимо подать в единицу времени на вход концентратора определяется из соотношения:

$$G_{ГР} = C_{ГР} \cdot Q_{BX}, \quad (2)$$

где $C_{ГР}$ – необходимая концентрация гранулята в потоке воздуха, определяемая из соотношения:

$$C_{ГР} = (1-10) \cdot C_{BX.ПРИМ} \quad (3)$$

Количество загрязненного потока в циклоне, устанавливаемое по перепадам ΔP_1 и ΔP_2 , определяют из соотношения:

$$q_{ОТВ} = \frac{Q_{BX} \cdot C_{BX.ПРИМ}}{C_{ОТВ.ПРИМ}},$$

(4)

где $C_{ОТВ.ПРИМ} = (1-10) г / м^3$.

2 Оценка существующих установок по очистки воздуха в производстве ПЭВД от сажи

2.1 Характеристика частиц

Крупные частицы в области пылевыводного отверстия в большей мере подвержены тормозящему действию поверхности, труднее транспортируются потоком и при концентрации более 10 г/м^3 накапливаются в объеме циклона из-за неудовлетворительного оттока частиц в приемник. В этом случае вынужденный вихрь формируется не в приемнике, а в сепарационной зоне в объеме циклона на вращающемся слое из частиц. Это приводит к повышенному уносу крупных частиц из сепаратора [6].

В приемнике закрученное течение можно рассматривать аналогично течению при взаимодействии вихря с неподвижным основанием. При этом возникают вторичные течения, которые при малой запыленности и высоких скоростях вращения поступающего потока имеют высокую интенсивность, причем местные радиальные скорости в пограничном слое сопоставимы с окружными скоростями. В этих условиях возникает обратный вынос пыли, которая была отсепарирована в объеме циклона.

Качественный анализ интенсивности течений может быть выполнен на основе решения Бедевадта, в которых предполагается распределение окружных скоростей над основанием, вне пограничного слоя, по закону:

$$V_0 = rw_0, \quad (5)$$

где w_0 - угловая скорость незапыленного потока.

При этом в погранслое:

$$U_0 = rw_0 F(\xi); \quad (6)$$

$$V_0 = rw_0 G(\xi); \quad (7)$$

$$W_0 = \sqrt{v_0 w_0} H(\xi); \quad (8)$$

$$\xi = Z \sqrt{\frac{w_0}{v_0}}; \quad (9)$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{dP}{dr} = rw_0^2. \quad (10)$$

Однако в подножье формирования вынужденного вихря концентрации частиц велики. Если формально положить в решениях:

$$\rho_s = \rho_0 + C, \quad (11)$$

то при $C \gg \rho_0$, $w < w_0$, $v w < v_0 w_0$, и все компоненты скорости будут иметь малые значения. В этом случае вынос пыли отсутствует, формируется слой из частиц. Процесс формирования слоя в приемнике интенсифицируется при поступлении в него пыли в виде жгутов из сепарационного объема циклона.

Для малых концентраций, при которых жгуты устойчиво транспортируются потоком при любом положении циклона, можно сделать оценки скорости жгута, исходя из распределений скоростей газа и частиц в области движения жгутов и имеющихся сведений о сопротивлении нитевидных, волокнистых и т.п. тел.

В окружном направлении сила трения жгута о поверхность уравновешивается увлекающей аэродинамической силой потока:

$$\frac{mV_s^2}{R} \phi_s = 0,5 \rho \xi_s S_s (V - V_s)^2 \quad (12)$$

где V_s, V - окружная скорость жгута и газа;

ϕ_s, ξ_s - коэффициенты трения о поверхность жгута и коэффициент аэродинамического сопротивления;

S_s - эквивалентная площадь жгута.

Для удлиненных тел, волокон силы сопротивления в квадратичной области обтекания можно выразить аналогично:

$$F_s = 0.5 \rho C_A \frac{\pi}{4} d_F^2 (V - V_s)^2, \quad (13)$$

где $C_A = 5,31 - 4,88 \cdot \psi$;

d_F - диаметр сферической частицы с поверхностью, равной поверхности волокна;

$$\psi = \frac{d_\theta^2}{d_F^2};$$

$d_\theta = (6r_s^2 l_s)^{1/3}$ – диаметр сферы с объемом, равным объему волокна,

$$d_F = (2r_s l_s)^{1/2};$$

$$\psi = 1,65 \left(\frac{r_s}{l_s} \right)^{1/3}.$$

В выражении (12) $S_s = \frac{\pi}{4} d_\theta^2$; $\xi_s = \frac{C_D}{\psi}$ и уравнение (12) примет вид:

$$\frac{V_s^2}{R} \rho_s \varepsilon_s \frac{\pi d_\theta^3}{6} \phi_s = 0,5 \rho \xi_s \frac{\pi}{4} d_\theta^2 (V - V_s)^2 \quad (14)$$

где ε_s – объемная концентрация частиц в жгуте;

ρ_s – плотность пыли.

Уравнение баланса масс имеет вид:

$$\varepsilon_s \rho_s \frac{\pi d_\theta^3}{6} = \frac{C_{BX} Q l_s \eta_s \cos \alpha}{V_s} \quad (15)$$

где η_s – коэффициент попадания пыли в жгут;

α – угол между скоростью жгута и окружным направлением;

Q – расход газа;

C_{BX} – концентрация частиц на входе.

Вводя безразмерные величины $f_{BX} = \overline{f_{BX}} \pi R^2$, $l_s = \overline{l_s} R$, $r_s = \overline{r_s} R$, $V = \overline{V} V_{BX}$,

$V_s = \overline{V}_s V_{BX}$, получим следующие соотношения для параметров жгута:

$$\left(\frac{\overline{V} - \overline{V}_s}{\overline{V}_s} \right)^2 \overline{V}_s^{-1/3} = 2,42 \left(\frac{\rho_s}{\rho} \right)^{2/3} \left(\frac{C_{BX}}{\rho} \overline{f_{BX}} \varepsilon_s^2 \eta_s \right)^{1/3} \frac{\phi_s}{\xi_s} \overline{l_s}^{-1/3} \cos^{1/3} \alpha \quad (16)$$

$$\frac{\overline{r_s}}{\overline{l_s}} = \left(\frac{\rho}{\rho_s} \frac{c}{\rho} \frac{\overline{f_{BX}} \eta_s \cos \alpha}{\varepsilon_s} \right)^{1/2} \quad (17)$$

где $\overline{l_s} = \overline{H} / \sin \alpha$;

$$\overline{H} = H / R;$$

H – высота сепарационной части.

Формирование слоя частиц в приемнике имеет определяющее значение для высокой эффективности процесса очистки газа от пыли в центробежных аппаратах. Существуют различные гипотезы механизма формирования слоя частиц: частицы из сепарационного пространства заносятся в приемник посредством сил инерции и осаждаются под действием сил тяжести; отсепарированная на ограждающие поверхности сепарационного пространства пыль сыпается в приемник под действием сил тяжести; в пылеприемник поступает концентрат пыли с частью потока, из которого частицы под действием сил тяжести выпадают, а освободившийся от частиц газ снова поступает в сепарационное пространство. В последнем случае под «выпадением» подразумевается выпадение в приемнике частиц из потока, который полностью потерял свою несущую способность, что наблюдается при высоких запыленностях исходного потока. Т.е. поток в приемнике проходит стадии с затуханием турбулентности (уменьшение скорости) с последующей генерацией турбулентности (увеличение скорости), при этом происходит выделение мелких частиц менее 10 мкм. Однако для слабозапыленного исходного потока в случае содержания мелких частиц несущая способность потока в приемнике остается высокой, и силы тяжести для мелких частиц не проявляются.

Тем не менее, в высокоэффективных циклонных пылеуловителях выделение частиц осуществляется эффективно и при малых исходных концентрациях. Следовательно, существует иной механизм выделения пыли помимо оговоренного выше. Е. Теверовский [7] полагает, что «циклонный процесс заключается не в том, что центробежные силы осаждают частицы, а в образовании под их действием жгутов частиц пыли, движущихся у стенок циклона и выносимых в бункер, где они оседают под действием сил тяжести». То, что сконцентрированное у ограждающих сепарационное пространство поверхностей движется в виде жгутов отмечается многими исследователями.

В криволинейном движении около вогнутых поверхностей генерируются вихри первого и второго рода. Происходит дополнительная затрата энергии на генерацию этих вихрей. Вихри второго рода представляют собой вихри Тейлора-

Гертлера. Эта дополнительная затрата энергии полезна с точки зрения жгутообразования, поскольку вихри второго рода собирают пыль в жгуты с высокой концентрацией частиц. В области жгутов осуществляется стратифицированное течение за счет большого градиента плотности смеси, аналогично температурной стратификации течения вблизи охлаждаемой стенки, обтекаемой горячим потоком. Это течение находится в устойчивом состоянии, определяемом динамикой движения: небольшие неоднородности плотности смеси приводят к образованию жгутов, размывание жгутов потоком приводит к увеличению концентрации частиц в окрестности жгутов, ламинаризации потока и усилению вихрей Тейлора – Гертлера, собирающих частицы в жгут. Визуально видно, что движение жгутов устойчиво.

Жгутообразование происходит не только в циклонных аппаратах с односторонним вводом, но и при распределенном вводе с применением лопаточного закручивателя, причем образующиеся жгуты ухудшают равномерность раздачи концентрата пыли по горелкам через отводные каналы, расположенные равномерно по окружности в конце концентратора. Для уменьшения неравномерности концентрации по окружности, там, где расположены отводные каналы, в использованы дополнительные пережимы, способствующие диспергации жгутов.

Процесс жгутообразования при возрастании окружной скорости усиливается до определенного предела, выше которого эффективность очистки начинает уменьшаться. В [8] эффективность очистки представлена в функции числа Eu или в функции коэффициента гидравлического сопротивления:

$$\xi = 2\Delta P / \rho w_0^2, \quad (18)$$

где ΔP – потери давления в циклоне;

ρ, w_0 – плотность и скорость газа.

Н.А. Фукс объясняет уменьшение эффективности очистки с увеличением скорости выше предельного значения влиянием турбулентности и увеличением несущей способности потока. Аналогичные процессы наблюдаются в циклонных

газожидкостных сепараторах: при увеличении окружной скорости газа более 20 м/с эффективность сепарации резко уменьшается из-за вторичного уноса жидкости. Отмечено два вида вторичного уноса: срыв отсепарированной жидкости со стенок (вторичная диспергация) и унос жидкости ядром вихря под воздействием интенсивных восходящих токов газа в центральной части циклонной камеры.

Процесс выделения пыли из газового потока противоположен процессу взвешивания частиц в движущемся потоке. Причиной транспортировки крупных частиц газовым потоком является ударное взаимодействие со стенкой, вращение частиц вокруг своей оси и возникновение сил Магнуса. Для тонкодисперсных материалов «взвешенное» состояние определяется турбулентными и диффузионными процессами. Воздействие частиц на поток связано с тем, что мгновенные и осредненные скорости частиц и газа не совпадают. Для мелких частиц осредненные скорости движения совпадают с осредненными скоростями течения, однако пульсационные скорости не совпадают, и этим обусловлено влияние частиц на турбулентность несущего газового потока. При появлении в газовом потоке с твердыми частицами дополнительной диссипации турбулентной энергии, может наблюдаться гашение турбулентности газового потока. В [1] было показано, что присутствие инерционных частиц в газе приводит на конечном этапе вырождения изотропной турбулентности к более быстрому экспоненциальному затуханию турбулентных пульсаций. Максимальная работа взвешивания частиц получается при концентрации $C = 0,5 \cdot \rho$ (C – концентрация частиц, ρ – плотность газа). При больших концентрациях пыли начинается выделение из потока частиц, образование локальных флюидных потоков, сгустков, образование «дюн» и облачков, которые ведут к увеличению завихрений, турбулентности, диспергации выпавшего материала и его повторное выпадение. Таким образом, появляются неустойчивости в виде нестационарности концентраций.

В закрученном потоке эффективность выделения пыли из образовавшихся жгутов зависит от степени диспергации жгутов в

пылеприемнике потоками газа, доставившими эти жгуты в приемник. В эффективно работающем циклоне поток по пути к пылевыводному отверстию растрчивает свою энергию на генерацию вихрей второго рода и транспортировку жгута. Для диспергации этих жгутов в приемнике также должна быть затрачена энергия. Эта энергия будет мала, если в самом приемнике будет продолжаться процесс жгутообразования и затухания крутки потока. В циклоне с индивидуальным приемником, в зависимости от его конструкции, генерирование турбулентности носит градиентный характер и интенсивность ее оказывается недостаточной для разрушения жгута. В приемниках, типа инерционного сброса, в которых затухание турбулентности не только не происходит, но и увеличивается за счет дополнительных вихреобразований, выделение мелких частиц невозможно из-за диспергации жгутов. Такая же ситуация оказывается в приемниках батарейных циклонов, в которых выходящие из пылевыводных отверстий факелы взаимодействуют между собой и, в результате, интенсивность турбулентности в общей камере сбора пыли оказывается сопоставимой с интенсивностью турбулентности в факеле. Этим обстоятельством можно объяснить низкую эффективность обеспыливания газов батарейными циклонными золоуловителями. Наиболее радикальным решением проблемы повышения устойчивости и эффективности циклонных систем является применение транзит- «приемников», в которых происходит затухание потока и естественным образом образуется слой частиц.

2.2 Характеристика насыпного слоя

Структура материала характеризуется сцеплением частиц. Силы аутогезии определяются молекулярными, электрическими или капиллярными силами, действующими в зонах контактов частиц. Предельные напряжения, при которых происходит разрушение контактов между частицами, определяются силой связи между частицами, а также числом контактов в единице объема. Предельное напряжение сдвига, т.е. минимальном напряжении, выше которой деформация становится необратимой, обратно пропорционально квадрату диаметра частиц. Это относится к однородной структуре т.е. не содержащих крупных дефектов с размерами много больше диаметра частиц.

Реальный слой представляет неоднородную (блочную) структуру, которая определяется при его формировании. Между блоками контакты между частицами ослаблены, и сцеплением между ними можно пренебречь. Т.е. можно предположить, что просветы между блоками заполнены частицами с менее плотной упаковкой.

Прочностные и реологические свойства порошков связывают с их способностью удерживать их вертикальный откос. Грубодисперсные сыпучие порошки не обладают такой способностью. Чем выше прочность и чем меньше плотность порошка, тем большей может быть высота образца с вертикальным откосом.

Для определения высоты вертикального откоса порошка используют открытый сверху ящик, одна из боковых стенок которого откидывается на шарнирах. В ящик загружают послойно материал до определенной высоты и медленно опускают боковую стенку. Если боковая грань образца не обрушивается, опыты повторяют, увеличивая величину засыпки до тех пор, пока не произойдет ее обрушение. Высота вертикального откоса отражает соотношение между аутогезионной способностью порошка, которая определяет прочность порошкового тела, и его внутренним трением и плотностью, которые определяют напряженное состояние у открытой стенки.

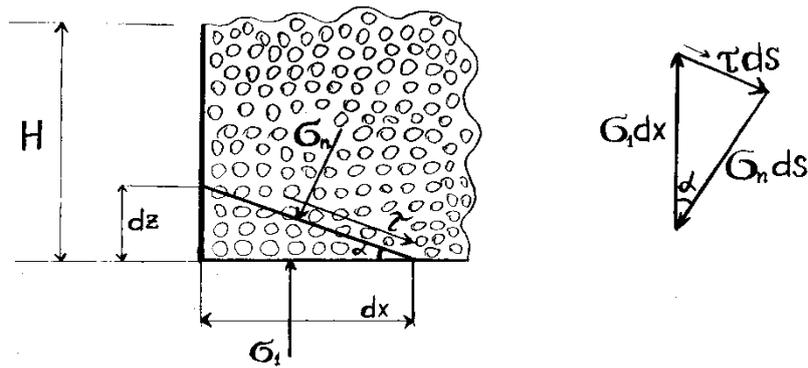


Рисунок 8 – Связь между составляющими напряжениями в сыпучем материале

На призму с гранями dx, dz, ds действуют силы: $\sigma_1 \cdot dx \cdot 1, \sigma_2 \cdot dz \cdot 1, \sigma_n \cdot ds \cdot 1, \tau \cdot ds \cdot 1$.

Здесь σ_1 – главное напряжение, $\sigma_2 = 0$, σ_n, τ – нормальное и касательное напряжения на площадке ds . $dx = ds \cdot \cos \alpha$. Записывая равенство сил на направлении τ , получим $\tau \cdot ds - \sigma_1 \cdot dx \cdot \sin \alpha = 0, \tau = \frac{\sigma_1}{2} \cdot \sin 2\alpha$.

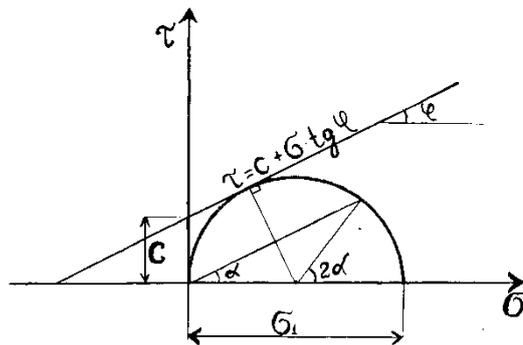


Рисунок 9 – Связь между главным напряжением и касательным напряжением на круге Мора (зависимость напряжения от угла наклона площадки в сыпучем материале)

Последнее выражение даёт зависимость $\tau(\sigma_1)$ при различных α . Напряженное состояние порошка в какой либо точке можно выяснить с помощью кругов Мора, отображающие связь касательных и нормальных напряжений, которые испытывают площадки, расположенные под разными углами. Эта связь находится из рассмотрения равновесия призмы, на перпендикулярные грани которой действуют главные напряжения, а на наклонную касательная и нормальная. Для вертикального откоса одно главное напряжение равно давлению веса материала, другое равно нулю. Образующая

круга проходит через начало координат. Касательная к окружности, проведенная под углом внутреннего трения, отсекает на оси ординат (касательные напряжения) отрезок, равный напряжению сцепления. Пересечение ординаты τ с касательной под углом внутреннего трения к окружности даёт величину:

$$\sigma_1 = \rho_n \cdot g \cdot H, \text{ Па} \quad (19)$$

где ρ_n - плотность насыпного слоя (кг/м^3);

H - высота вертикального откоса.

Отсюда:

$$c = \frac{H \cdot \rho_n \cdot g}{2} \cdot \text{tg} \frac{90 - \phi}{2}. \quad (20)$$

Для большинства материалов:

$$c = \frac{H \cdot \rho_n \cdot g}{4}. \quad (21)$$

2.3 Особенности сепарации сажи

Существенное значение имеет агломерация частиц в осаждении частиц в циклоне. В производстве технического углерода продукт представляет частицы размером 0,01-0,55 мкм. Истинная плотность составляет 1750-2000 кг/м^3 , тогда как кажущаяся плотность составляет 80-300 кг/м^3 . Таким образом, в слое углерода содержится 4-15% собственно углерода, остальное - газовая фаза. Частицы технического углерода почти всех видов уже в процессе получения соединяются в цепочки или образуют более сложные разветвленные структуры. Казалось бы, инерционные эффекты для осаждения таких частиц не могут проявляться, тем не менее, на практике технический углерод достаточно хорошо осаждается в циклонах из потоков с достаточной запыленностью благодаря исключительной склонности к коагуляции и образованию хлопьев в агрегате. В схеме осаждения продукта и обеспыливания газов электрофильтр-циклон-циклон запыленность понижается в 500 раз [10].

2.4 Разработка технических решений по повышению устойчивости выделения частиц в установке пневмотранспорта сажи

Система обеспыливания в установках пневмотранспорта сажи обладает тем недостатком, что фильтры забиваются сажой, рвутся или запирают пневмотранспортирующий поток. В пневмотранспортирующей установке реализуется поршневой режим транспортировки сажи. С одной стороны, это уменьшает энергозатраты и облегчает выделение сажи из воздуха. С другой стороны, из-за того в фильтре реализуются нестационарные потоки, фильтры работают также в нестационарном режиме, т.е. с перегрузкой, что объясняет их неудовлетворительную работу.

Аналогом устройства для повышения устойчивости выделения частиц в установках пневмотранспорта сажи может быть система пылеотделения установки пневмотранспорта цемента, разработанная сотрудниками Томского политехнического университета для ЖБИ-27 (рисунок 10).

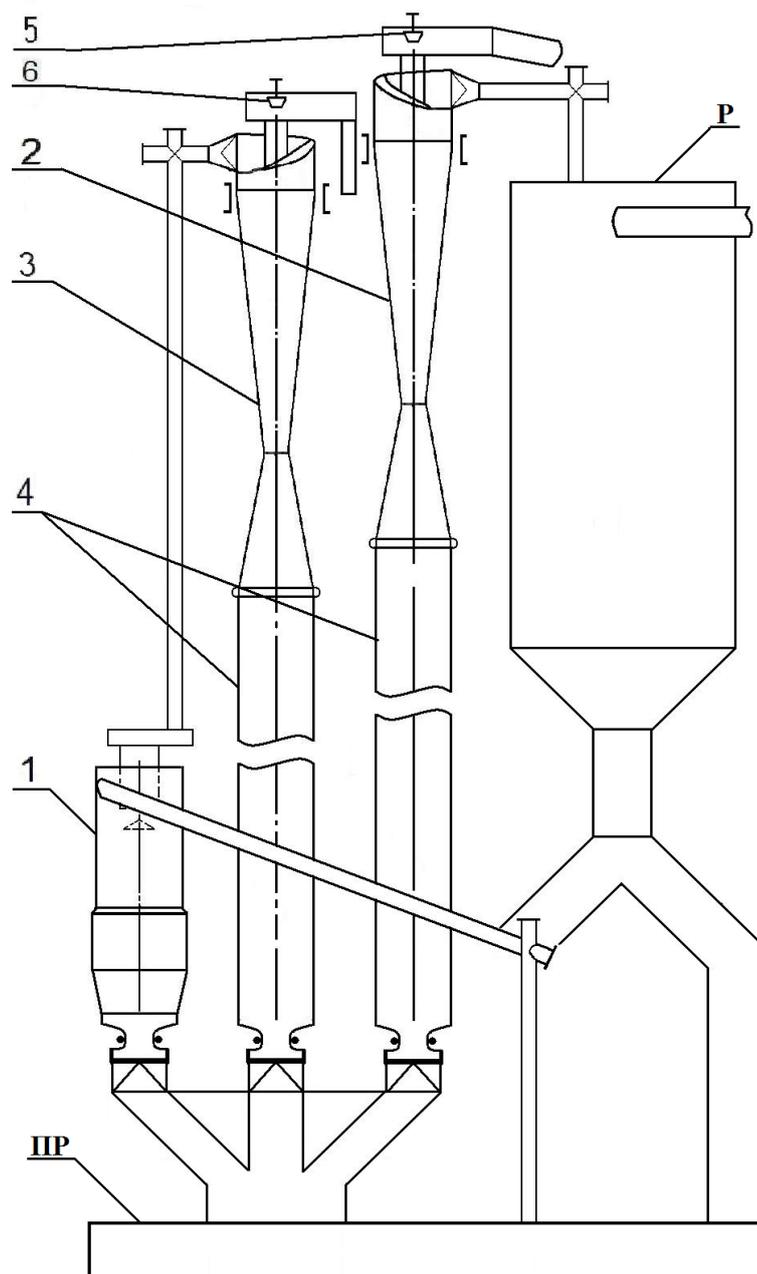


Рисунок 10 – Система пылеотделения установки пневмотранспорта цемента

Материал транспортируется воздухом и поступает в разгрузитель сажи Р, соединенный с приемником сажи ПР. Разгрузитель Р, через патрубок, соединяется с первичным узлом обеспыливания системы пылеотделения установки пневмотранспорта сажи, состоящим из циклона 2 и фильтрующим приемником 4. Выделившаяся из потока сажа в фильтрующем приемнике 4 через пылевыводные точки поступает в приемник ПР. Приемник ПР через патрубок соединяется с вторичным узлом обеспыливания, состоящим из разгрузителя приемника сажи 1, циклона 3 и фильтрующим приемником 4. Выделившаяся из

потока сажи в фильтрующем приемнике 4 через пылевыводные точки поступает в приемник ПР.

Принцип работы системы пылеотделения установки пневмотранспорта сажи заключается в следующем.

Из силоса материал в поршневом или аэрозольном состоянии транспортируется воздухом с расходом Q_p в разгрузитель P , где выделяется из несущего потока и поступает в приемник ПР.

Воздух с меньшим содержанием частиц из разгрузителя сажи P , со средним расходом Q_B , в зависимости от режима транспортировки, поступает в циклон 2, где разделяется на два потока: воздух с малым содержанием частиц со средним расходом q_B отводится в выходное отверстие циклона 2, а воздух с большим содержанием частиц в количестве $Q_B - q_B$ выводят через циклон 2 в фильтрующий приемник 4.

Воздух с высоким содержанием частиц из разгрузителя P в количестве Q_H направляют в приемник сажи ПР, где он освобождается от сгустков частиц и поступает далее в разгрузитель приемника сажи 1, а затем в циклон 3, в котором разделяется на два потока: поток с малым содержанием частиц в количестве q_H отводится в выходное отверстие циклона 3, а воздух с высоким содержанием частиц в количестве $Q_H - q_H$ выводят через циклон 3 в фильтрующий приемник 4.

При этом регулирование потоков воздуха в циклоне 2 производится с помощью дросселирующего затворного элемента 5, а в циклоне 3 – посредством дросселирующего затворного элемента 6.

Указанные диапазоны расходов потоков связаны с режимом транспортировки сажи в разгрузитель сажи P . При содержании материала, превышающем 10% его объема, материал в транспортном трубопроводе движется поршнями (пробками) и средняя концентрация частиц в воздухе составляет более 20 кг/кг воздуха. При этом в промежутки времени поступления поршня количество входящего воздуха минимально, а в промежутках между

поршнями – максимально. Содержащиеся частицы в воздухе в основном имеют размер менее 1 мкм. В этом режиме транспортировки дисперсного материала воздух из разгрузителя P со средним расходом $Q_B = (0,4-0,6) \cdot Q_P$ направляют в циклон 2, и в количестве $q_B = (0,3-0,4) \cdot Q_B$ в выходное отверстие циклона 2, а поток в количестве $Q_B - q_B = (0,7-0,6) \cdot Q_B$ с повышенной концентрацией частиц направляется в фильтрующий приемник 4.

Воздух из разгрузителя цемента P с высоким содержанием частиц в количестве $Q_H = Q_P - Q_B = (0,6-0,4) \cdot Q_P$ направляют в приемник цемента ПР, из которого он поступает в разгрузитель приемника сажи 1 и далее в циклон 3, из которого воздух в количестве $q_H = (0,2-0,3) \cdot Q_H$ выводят в выходное отверстие циклона 3, а другой поток со средним расходом $(0,8-0,7) \cdot Q_H$ – в фильтрующий приемник 4.

При таком перераспределении потоков зависание материала в разгрузителе P не происходит, образовавшиеся жгуты выделяются из потока и транспортируются на дно фильтрующих приемников. Пылевая нагрузка на материал фильтрующих приемников оказывается малой, и система работает устойчиво.

При содержании материала, не превышающем 10% его объема, материал в транспортном трубопроводе движется в виде взвеси (аэрозоль – транспорт) с повышенным расходом воздуха. Пыль в потоках на выходе из разгрузителя сажи P и бункера-приемника цемента ПР имеет фракционный состав близкий к исходному, т.е. большая часть пыли содержит частицы с размерами более 2 мкм. В этом случае $Q_B = (0,7-0,8) \cdot Q_P$, $q_B = (0,6-0,9) \cdot Q_B$, $Q_H = (0,3-0,2) \cdot Q_P$, $q_H = (0,1-0,3) \cdot Q_H$. При таком перераспределении потоков зависание пыли в разгрузителе P не происходит, циклоны 2 и 3 не забиваются, работают устойчиво, эффективно, а пылевая нагрузка на материал фильтрующих приемников 4 уменьшена.

Таким образом, при содержании материала в силосе, превышающем 10% его объема, реализуется беспылевой (поршневой) пневмотранспорт; расход газа

в потоке ограничен, поток содержит частицы менее 1 мкм, поэтому дросселирующие затворные элементы 5 и 6 на циклонах 2 и 3 должны находиться в положении – закрыто.

При содержании материала в силосе, не превышающем 10% его объема, материал в транспортном трубопроводе движется в виде взвеси (аэрозоль – транспорт) с повышенным расходом воздуха; поток содержит частицы близкие к исходному, поэтому дросселирующие затворные элементы 5 и 6 на циклонах 2 и 3 должны находиться в положении – открыто.

3 Исследование характеристик потока с дисперсной фазой и оценка эксплуатационных показателей экспериментальной установки

3.1 Описание экспериментального стенда

Эксперименты проводились на стенде схема компоновки которого представлена на рисунке 3. Путем изменения условий движения потока по криволинейному каналу был достигнут наилучший результат очистки гранул от стружки. Как уже указывалось в главе 1.4 установка имеет три ступени:

1. Первая ступень – центробежный сепаратор, изображен на рисунке 11. Гранулированный материал очищается в центробежном сепараторе за счет самого транспортирующего потока. В верхней части сепаратора находится криволинейный канал, внизу между регулируемым по высоте конусом и ограждающей шторкой имеется зазор. В этот проход поступает частично очищенный гранулят. Пыль и стружка прижимается к стенке, выходит с потоками по направляющей к заслонке в центр вихря и выносятся.

Ниже канала там, где вводится поток продувочного воздуха, имеется отражатель вынужденного вихря, на котором формируются радиальные токи, которые осуществляют доочистку гранулята.

С помощью дифференциального манометра "Testo-512" подключенного к расходомеру во входном патрубке, имеющим внутренний диаметр 38 мм, была измерена скорость входного потока (вход С), максимальное значение которой составило 22 м/с . Данный вид манометра позволяет оценивать перепад между статическим и полным давлением и по полученным данным оценивать скорость потока.

Конструктивной особенностью разработанного центробежного сепаратора является то, что он выполнен с возможностью регулировать положение его внутренних составных частей, что напрямую влияет на характер поведения потока с дисперсной фазой. Под внутренними составными частями подразумеваются регулируемый по высоте подвижный отражательный конус и криволинейная пластина (поворотная ограждающая шторка).

Ограждающая шторка может быть установлена в различных положениях относительно входного патрубка, что позволяет менять траекторию движения смеси в виде гранулята и стружки поступающих в сепаратор. Таким образом, установка криволинейной пластины обеспечивает лучшую транспортирующую способность, более интенсивное обдувание гранул при электростатической адгезии на них пыли.

Подвижный отражательный конус в свою очередь имеет возможность изменять высоту своего положения, тем самым регулируя ширину щели, разделяющей потоки, идущие с входа С и входа А.

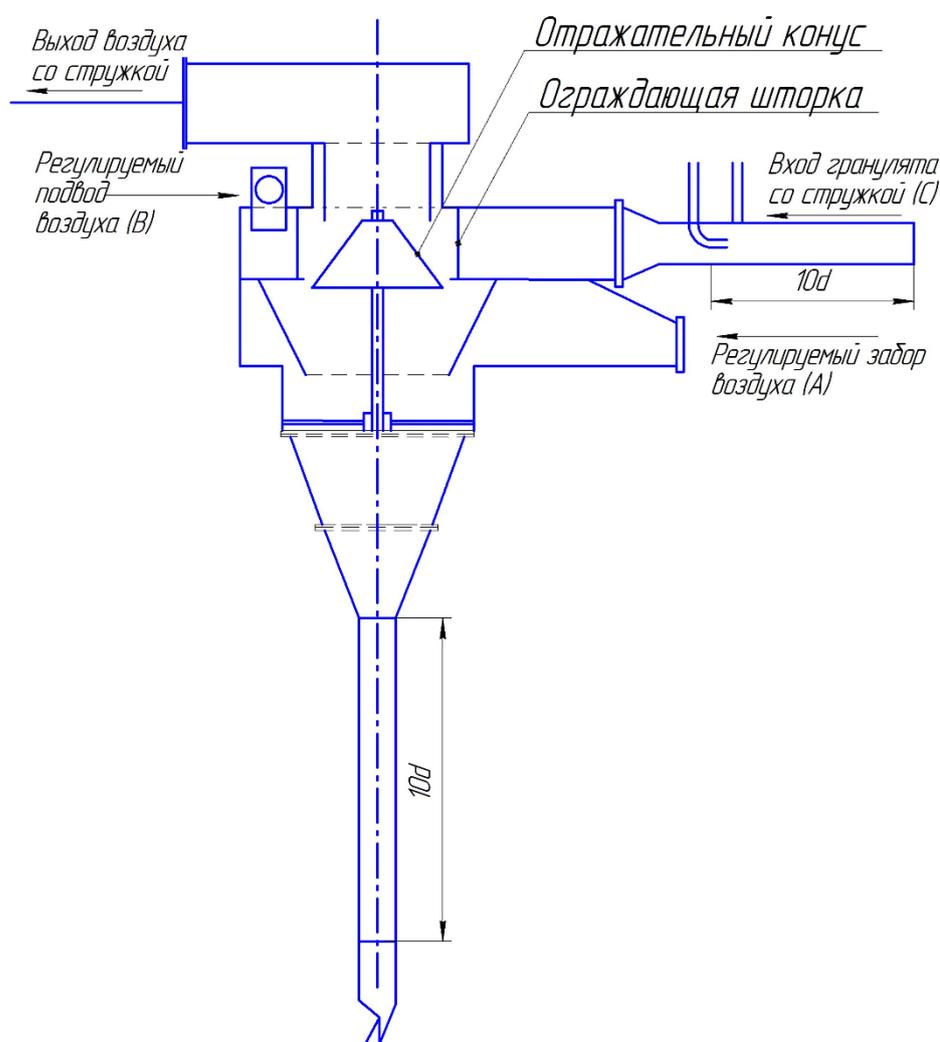


Рисунок 11 – Схема центробежного сепаратора

С целью уменьшения отложений гранулята при больших расходах в сепараторе имеется патрубок В. В этот патрубок под напором подаётся воздух,

который вызывает "бурление" слоя, зависшего гранулята, находящегося между корпусом сепаратора и криволинейной пластиной. Напор создаётся центробежным вентилятором производства "ЕЛПРОМ-ловеч" тип ВП-400/0,8 ГОСТ 65762-74.

2. Вторая ступень – вихревая камера, изображена на рисунке 12. В вихревой камере воздух при вихрестопке движется к выходному патрубку, а частицы центробежными силами концентрируются у стенки и выходят в пылевыводной патрубков. Процесс построен таким образом, что в потоке присутствует некоторое количество гранулята, который препятствует налипанию частиц на стенки. Несущая транспортирующая способность сохраняется максимальной во всей области сечения, поэтому забивки и зависания примеси в концентрате не наблюдается.

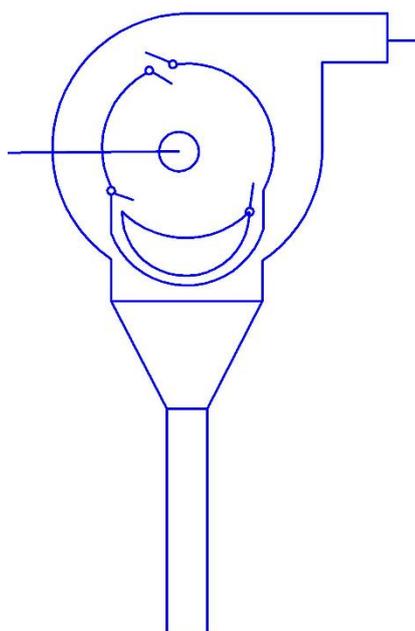


Рисунок 12 – Схема вихревой камеры

3. Третья ступень - фильтр, изображен на рисунке 13. В фильтре задерживается материал, не уловленный в сепараторе и вихревой камере. Фильтр играет важную роль после проведения эксперимента, когда сводится массовый баланс. Так же на рисунке 13 можно представлен центробежный вентилятор, производства НП ООО "Тайра" ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью

$Q = 1000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ при разрежении 3000 Па, который обеспечивал движение воздушного потока в установке. Опыты проводились при следующих условиях: температура воздуха в помещении 18–21°C, относительная влажность $\varphi = 50\%$, в помещении 18-ой аудитории 4-го корпуса НИ ТПУ. Его основные параметры и аэродинамические характеристики приведены ниже.

Назначение:

- Для пневмотранспорта гранулированных изделий;
- Для стационарных систем вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления;
- Для других санитарно-технологических целей.

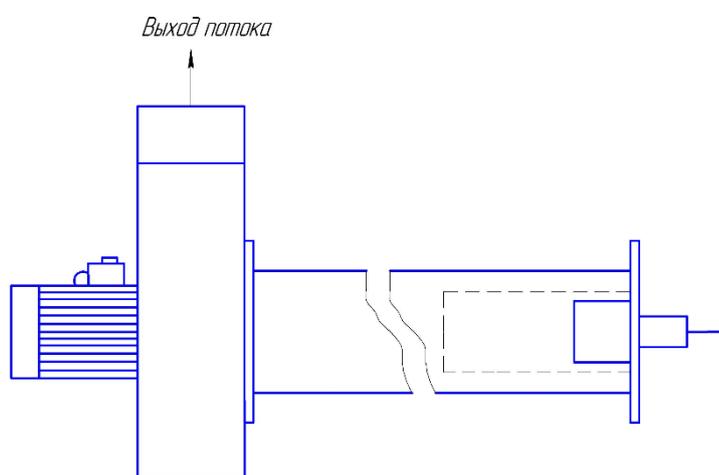


Рисунок 13 – Схема фильтра и вентилятора

Вариант изготовления вентилятора:

- Общего назначения из углеродистой стали, ГОСТ 5976-90;
- Среднего давления;
- Одностороннего всасывания;
- Корпус спиральный неповоротный;
- Назад загнутые лопатки;
- Количество лопаток – 9;
- Направление вращения – правое и левое.

На рисунке 14 изображены аэродинамические характеристики насоса ВЦ 5-35 №4.

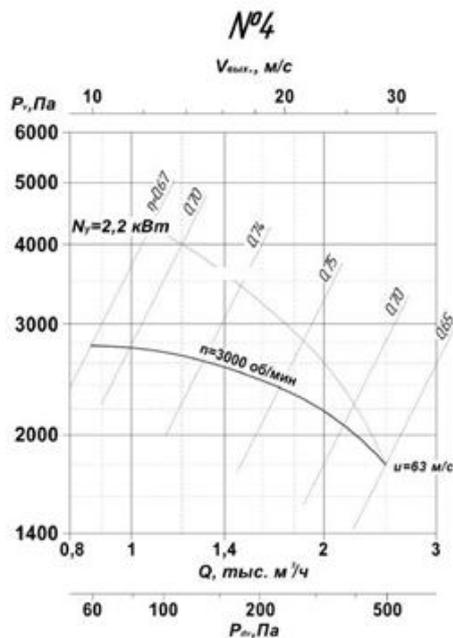


Рисунок 14 – Аэродинамические характеристики насоса ВЦ 5-35 №4

3.2 Методика проведения эксперимента

Эксперименты проводились на установке, изображенной на рисунке 15.

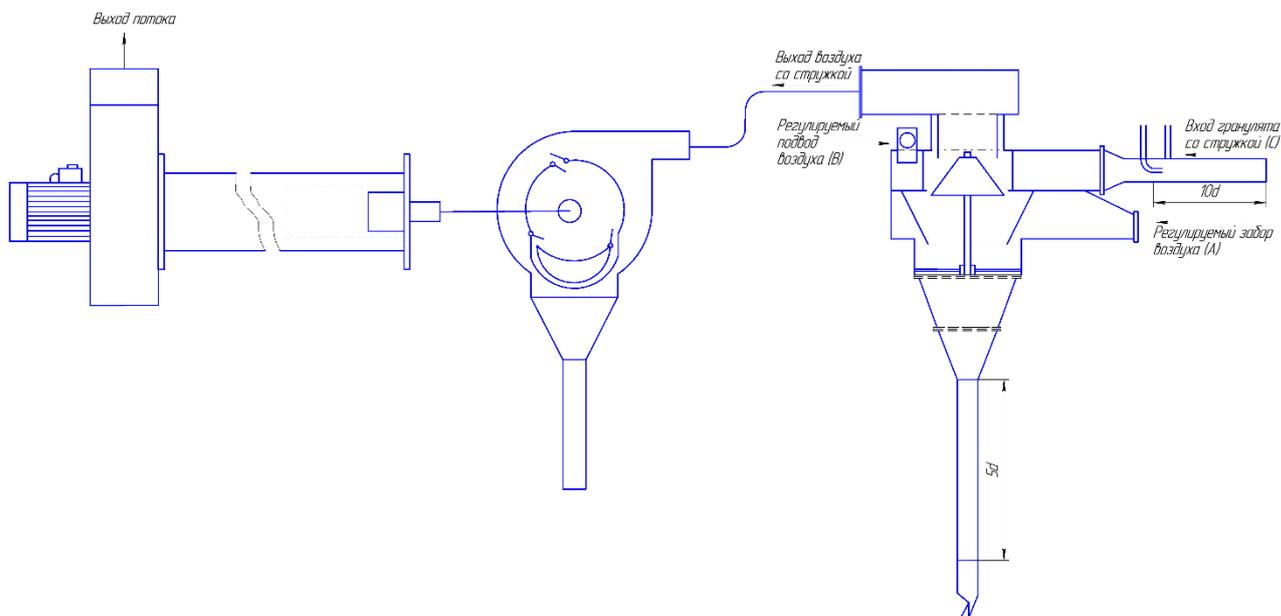


Рисунок 15 – Схема экспериментального стенда комплексной очистки

Была произведена серия опытов без подвода дополнительного напора воздуха (вход В). Так же не проводился регулируемый забор воздуха со стороны входа А. Геометрические параметры центробежного сепаратора имели начальное положение, то есть конус в верхнем положении, шторка под углом 40° к входному потоку. Результаты данной серии экспериментов представлены в таблице 1.

С целью повышения эффективности очистки гранул было принято решение провести ряд экспериментов с изменением подачи воздуха в дополнительных патрубках и регулирование внутренних составных частей сепаратора. Регулирование параметров проводилось в целях нахождения таких параметров, при которых результаты эксперимента будут наилучшими. Под наилучшими результатами следует понимать достижение следующих задач:

- Достичь максимального значения улова гранулята первой ступенью;
- Свести к минимуму наличие стружки в первой ступени;
- Минимизировать застой гранулята в центробежном сепараторе;
- Уловить стружку вихревой камерой (отсутствие уноса ее в фильтр);
- Снизить гидравлическое сопротивление установки;
- Не допустить унос отсеянного материала обратно в систему.

Далее была проведена следующая серия экспериментов со следующим изменением: проводилось регулирование забора воздуха (вход А). Вход А был оснащен задвижкой, которая могла принять три положения (открыта на 100, 66 и 33% соответственно). Результаты данной серии экспериментов представлены в таблице 2.

В следующей серии экспериментов был применен воздушный насос, о котором было сказано выше, для подачи напора воздуха в вход В. Для возможности регулирования подачи воздуха, вход В так же был оснащен задвижкой, которая имеет три положения (открыта на 25, 50 и 75% соответственно). Так же было изменено положение криволинейной пластины (поворотной шторки). Результаты данной серии экспериментов представлены в таблице 3. Стоит отметить, что при проведении каждой серии экспериментов

была измерена скорость на каждом из трех входов, был вычислен расход воздуха и было оценено количество воздуха, поступающего из каждого входа относительно суммарного количества воздуха участвующего в проведении эксперимента. Значения скоростей приведены в таблицах под номерами А.1, А.2, А.3, А.4, А.5. Значения расходов приведены в таблицах под номерами А.6, А.7, А.8, А.9, А.10. Значения расходов воздуха на входах А, В и С от общего расхода в процентных соотношениях приведены в таблицах под номерами А.11, А.12, А.13, А.14, А.15.

Расход воздуха был вычислен следующим образом:

С помощью дифференциального манометра производства "Testo-512" было получено значение скорости на каждом из входов. Зная внутренний диаметр патрубков была вычислена площадь внутреннего сечения по формуле:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}; \quad (22)$$

Имея значения площади и скорости на каждом из патрубков трех входов вычисляем расход по формуле:

$$Q = S \cdot V. \quad (23)$$

Значения процентных отношений количества воздуха поступающего из каждого входа были вычислены путем отношения количества воздуха поступающего из конкретного входа к всему количеству воздуха.

Для следующей серии экспериментов была изменена высота положения подвижного отражательного конуса, а именно, он был опущен на 2,5 см. Тем самым мы увеличили ширину зазора, разделяющего потоки, идущие с входа С и входа А на указанную величину. По результатам предыдущей серии экспериментов были сделаны выводы о нецелесообразности изменения положения криволинейной пластины, и она приняла свое исходное положение (под углом 40° относительно входного потока). Для чистоты эксперимента подача воздуха под напором со стороны входа В была приостановлена. Результаты данной серии представлены в таблице 4.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Настоящая НИР рассматривает научно-технические основы выделения частиц из запыленного газа при его криволинейном движении в инерционных аппаратах. Современные технологические процессы связаны с перемещением и механической обработкой сыпучих продуктов, которые сопровождаются большим выделением пыли в окружающую среду.

Существующие системы обеспыливания газов в производствах энергетической, химической, металлургической, строительной, пищевой и другой продукции предназначены для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха, улучшения условий труда, извлечения из газа ценных фракций пыли, если улавливаемый материал является основным продуктом процесса.

Одним из наиболее надежных способов очистки промышленных газов от взвешенных частиц является механическая очистка в сухих аппаратах. Циклонные пылеуловители составляют наиболее массовую группу среди пылеулавливающей аппаратуры данного вида и применяются во всех отраслях промышленности.

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ), планирование процесса управления НТИ, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Выделение частиц из запыленного газа при его криволинейном движении широко распространено в практике газоочистки. Для расчета эффективности работы сепараторов с криволинейными каналами необходимо разработать метод расчета процесса сепарации частиц в криволинейном канале при турбулентном движении аэрозоля.

Для проведения расчета необходимо проведение технико-экономического обоснования. Это связано с необходимостью оценки объема работ и

материальных вложений для реализации всего плана исследовательских работ, включающих в себя теоретическую проработку темы и проведение расчетов.

4.1. Оценка коммерческого, инновационного потенциала и научного уровня НИИ

Для реализации проекта модернизации производства полиэтилена высокого давления (ПЭВД) необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные решаемые в данном проекте задачи:

1. Дать оценки параметров движения дисперсной среды вблизи ограничивающей поток криволинейной поверхности в зависимости от крупности частиц и их концентрации во входном потоке.
2. Представить расчетные соотношения для вращательной компоненты газовой фазы.
3. Привести сепарационные характеристики аппарата для извлечения примеси из гранулированных полимерных материалов с устойчивым процессом сепарации при транспортных концентрациях частиц и возможные варианты его модернизации.

Первая задача относится к этапу НИР проекта, поскольку эта проблема связана напрямую с работой над опытным образцом продукции. На данной стадии основная роль отведена руководителю НИР. Затем идут две задачи, которые по той же стандартной методике являются принадлежащими к классу ОКР. На таком этапе участие ученых уменьшается и возрастает участие в проекте магистранта, призванного изготовить серийный образец продукции. Если получен серийный образец, то проект нуждается в коммерциализации. Эту задачу необходимо решить привлеченному к участию предпринимателю и менеджеру.

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в 4 корпусе НИ ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка, состоящая из трех основных ступеней:

1. Сепаратор
2. Вихревая камера.
3. Воздушный насос.

Это устройство предназначено для очистки ПЭВД от вредных примесей, таких как стружка, пыль, волокна и т.д. В настоящий момент для настоящего проекта завершена стадия НИР, проведена работа по очистке ПЭВД, этап ОКР на стадии завершения.

Конкурентные преимущества данной установки с затвором непрерывной выгрузки состоят в следующем:

1. Метод является прямым, т.е. продукт получается без дополнительных этапов;
2. При реализации очистки отсутствуют вредные выбросы;
3. Не требуется предварительная подготовка исходного материала;
4. Производство реализуется при нормальных температуре и давлении;
5. Метод имеет высокую производительность до 800 г/мин при низких энергозатратах порядка 100 кВт·час/кг;
6. Материал находится в свободном доступе (дефицит не испытывается).

Рассмотрим факторы микросреды, к которым относятся анализ поставщиков, потенциальных покупателей, конкурентов и контактной аудитории. Поставщиком материала для реализации производства является следующая компания: ООО «ТНХК», г. Томск – поставка ПЭВД для изготовления изделий на основе полиэтилена.

Несмотря на то, что ныне существующие методы по очистке ПЭВД от взвесей недостаточно эффективны, данный продукт уже находит своего покупателя в лице мало и среднебюджетных компаний.

Ближайшие конкуренты предлагаемой продукции находятся на достаточно большом удалении от города Томска и затраты на доставку продукции имеют большое значение.

Отметим факторы макросреды, влияющие на реализацию проекта:

1. Политические. Отсутствие государственных программ по поддержке предприятий в области производства ПЭВД;
2. Социально-культурные. Отсутствует просвещенность населения и отечественных фирм-потребителей в данной области;
3. Международные. Затрудненность взаимодействия с зарубежными потребителями и выхода на международный рынок;
4. Научно-технические. Возможность финансовой поддержки со стороны государства и частных лиц (гранты, проекты и др.).

Проведем маркетинговые исследования проекта. Рынок ПЭВД грубой дисперсности является давно сформировавшимся. Гранулы, продаваемые на этом рынке, производятся стандартным методом. Существует большое количество предприятий в России, производящих такой продукт. В последние десятилетия из традиционных порошковых технологий выделяется отрасль, связанная с получением ПЭВД. Эта область науки и техники является абсолютно уникальной вследствие чрезвычайно новых и более высоких характеристик данных материалов. Проведенные маркетинговые исследования касаются именно ПЭВД.

Первым вопросом, который следует отметить в ходе маркетингового анализа, является исследование состояния современного рынка, его структуры, наличия монополистов на рынке, а также динамики развития. В ходе изучения этих проблем стал очевиден стремительный рост объема рынка по форме экспоненциальной кривой, в дальнейшем рынок ожидает значительное увеличение объемов. Следует отметить, что рынок ПЭВД в настоящий момент совершенно не развит. В мире существует не так много компаний, осуществляющих его производство. При этом предложение продукта этой компанией ограничено, цена довольно высока. Также существуют небольшие американские, японские и китайские научно-исследовательские институты, занимающиеся вопросами очистки ПЭВД.

Важным фактором, позволяющим оценить потенциал проекта, является экспертное оценивание – процедура получения оценки проблемы на основе мнения экспертов. В данном случае проводится сравнение существующих систем очистки ПЭВД. Анализ существующих станций для производства ПЭВД показал, что большинство оборудования на станциях устарело и нуждается в замене на более современное. При этом себестоимость получаемого продукта очень высока.

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ – это акроним слов Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабости), Opportunities (благоприятные возможности) и Threats (угрозы). Внутренняя обстановка фирмы отражается в основном в S и W, а внешняя – в O и T. SWOT-анализ является одним из этапов разработки маркетинговой стратегии. Методология SWOT-анализа предполагает, во-первых, выявление внутренних сильных и слабых сторон фирмы, а также внешних возможностей и угроз, и, во-вторых, установление связей между ними. В процессе анализа было определено следующее.

1. Конкурентные активы. Использование сильных сторон для освоения рыночных возможностей (S-O). Метод очистки ПЭВД характеризуется такими важными конкурентными преимуществами, как простота метода, быстрое действие, энергоэффективность, экологическая безопасность, низкая себестоимость, которые способны привлечь инвесторов для выполнения ОКР и коммерциализации проекта, выхода на российский и мировой рынок. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

2. Конкурентные пассивы. Преодоление слабых сторон для нивелирования угроз (W-T). Наиболее значимыми недостатками проекта являются отсутствие в составе проектной команды маркетинговиков и экономистов и, как следствие, отсутствие стратегии развития, неизвестная торговая марка, отсутствие автоматизированной производственной линии и поэтому малые объемы получаемой продукции в настоящее время. Если в ходе развития проекта

команда будет укомплектована высококвалифицированными экономистами, то это позволит провести тщательные исследования мирового и российского рынков и попытаться выработать стратегию развития компании. Наличие правильной стратегии позволит нивелировать угрозу неразвитости и монополизированности рынка.

3. Узкие места. Преодоление слабых сторон для освоения возможностей (W-O). Преодоление недостатков, связанных с отсутствием в команде экономистов и маркетологов и с недостаточно высокими объемами выпуска продукции, откроет возможности для освоения и развития рынка ПЭВД.

4. Безопасность и защита. Использование сильных сторон для нивелирования угроз (S-T). Такие преимущества, как большой опыт работы высококвалифицированной команды проекта, сплоченный коллектив, помогут добиться успешного выполнения опытно-конструкторских работ и создания автоматизированной установки, что позволит нивелировать угрозы неразвитости и монополизированности рынка.

Из полученных стратегических альтернатив необходимо выбрать те, которые будут обладать наибольшей силой, весом:

1. Приоритеты угроз – сопоставление угроз с преимуществами и рыночными возможностями. Российский рынок неразвит, внимание потенциальных компаний-покупателей и СМИ невысоко в области производства ПЭВД, поэтому в ходе реализации проекта придется столкнуться с проблемами, характерными для первопроходцев рынка. Мировой рынок монополизирован, и поэтому выход туда будет максимально затруднен. Однако учитывая уникальные физические преимущества данного метода очистки, а также наличие высококвалифицированного состава проектной команды, можно назвать угрозы вполне преодолимыми.

2. Приоритеты развития – немедленное улучшение слабых мест, сопоставление недостатков с преимуществами и рыночными возможностями. Наиболее существенными недостатками, которые необходимо разрешить в ходе реализации проекта являются проблемы, связанные с отсутствием в команде

экономистов и маркетологов, и малый объем производства. При этом имеется высокая возможность освоения и развития рынка. Такие возможности могут заинтересовать специалистов по экономике и маркетингу топ-уровня.

Таблица 8 – Результаты первого этапа SWOT-анализа

<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях. В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Ограничения на экспорт технологии. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>		

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	-	0	+
	B2	+	0	+	+	0
	B3	0	+	0	-	-
	B4	+	-	+	+	0

Таким образом, в ходе SWOT-анализа удалось выявить наиболее важные проблемы, которые необходимо разрешить в процессе выполнения проекта: повышение объемов производства ПЭВД за счет создания автоматизированной установки и привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

Количественная оценка научного и научно-технического уровня исследования характеристик потока с дисперсной фазой в инерционных аппаратах может быть произведена путём расчёта результативности участников разработки по формуле [16]:

$$K_{HV} = \sum_{i=1}^n (K_{дvi} \cdot d_i), \quad (52)$$

где K_{HV} - коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{дvi}$ - коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i - значимость i -го фактора;

n - Количество факторов.

Таблица 10 – Оценка научного уровня

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i-го фактора
	d_i	$K_{двi}$	$K_{двi} \cdot d_i$
1. Разработка метода расчета процесса сепарации частиц в криволинейном канале при турбулентном движении аэрозоля	0,3	0,5	0,15
2. Результаты расчета могут быть использованы при проведении НИР	0,2	1	0,2
3. Результаты, полученные в ходе исследования, были оформлены и опубликованы на конференциях.	0,1	0,7	0,07
4. Полученные результаты исследований могут быть применены для разработки установок с криволинейным каналом.	0,2	0,8	0,16
5. Возможно внедрение установки на основе криволинейного канала на предприятия	0,3	1	0,3
Результативность:	$K_{HY} = \sum_{i=1}^n (K_{двi} \cdot d_i) = 0,88$		

Максимально возможное значение K_{HY} равно 1,0. Чем ближе оно к 1,0, тем выше научный или научно-технический уровень разработки. Достигнутое значение $K_{HY}=0,88$ говорит о высоком уровне научно-технического уровня работы.

4.2 Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, расчет затрат

Исходя из SWOT-анализа, стратегия развития состоит из двух сторон: осуществление на базе завершенной НИР этапа ОКР, связанного с созданием опытной производственной линии; параллельная подготовка к стадии коммерциализации проекта, т.е. к осуществлению первых продаж продукта.

Разработаем диаграмму Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

В выполнении работы принимают участие два сотрудника:

1. руководитель работы – кандидат технических наук (к.т.н.) - 
2. магистрант - 

Распределение обязанностей между сотрудниками представлено в таблице 11:

Таблица 11 – Распределение обязанностей

Содержание работы	Исполнитель
Изучение литературы по теме	Магистрант
Изучение существующих систем очистки	Магистрант
Подготовка доклада к конференции	Руководитель, магистрант
Участие в конференции	Магистрант
Разработка метода расчета	Руководитель, магистрант
Обсуждение результатов	Руководитель, магистрант
Графическая часть	Магистрант
Оформление отчета	Руководитель, магистрант

Исходя из этого, мы получим календарный план выполнения НИР и линейный график работ по выполнению НИР (см. таблицу 12) и график занятости исполнителей (см. рисунок 16).

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 12 – Календарный план выполнения НИР

Содержание работ	Длительность работы, дней	Календарные дни			
		февраль	март	апрель	май
Изучение литературы по теме	28	[Cyan shaded area with a triangle icon in the first cell of February]			
Изучение систем очистки	10		[Cyan shaded area with a triangle icon in the first cell of March]		
Подготовка докладов к конференции	10		[Cyan shaded area with diamond icons in the first two cells of March]		
Участие в конференции	5		[Cyan shaded area with a triangle icon in the first cell of March]		
Разработка метода расчета	30		[Cyan shaded area with triangle and diamond icons in the first two cells of April]		
Обсуждение результатов	5		[Cyan shaded area with triangle and diamond icons in the first two cells of April]		
Графическая часть	5		[Cyan shaded area with a triangle icon in the first cell of May]		
Оформление отчета	30		[Cyan shaded area with a triangle icon in the first cell of May]		

Таким образом, получаем, что вся работа займет 4 месяца.



Рисунок 16 – График занятости исполнителей по выполнению НИР

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат

включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 13.

Затраты на проведение НИР складываются из шести элементов:

- 1) материальные затраты;
- 2) затраты на заработную плату;
- 3) отчисления на социальные нужды;
- 4) амортизационные отчисления;
- 5) прочие затраты;
- 6) накладные расходы;

4.3 Материальные затраты

Материальные затраты включают в себя стоимость приобретенных компонентов, необходимых для проведения работ. Материальные затраты на проведение данной НИР представлены в таблице 13:

Наименование затрат	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага белая формата А4	1	150	150
USB накопитель	1	80	80
Канцелярские товары	-	-	170
			400

Таблица 13 – Материальные затраты на проведение НИР

Итого материальные затраты составили 400 рублей.

4.4 Затраты на оплату труда

Для того, чтобы рассчитать затраты на заработную плату, необходимо провести планирование НИР и определить число сотрудников, задействованных в работе.

Начальная стадия планирования – разбивка работы на этапы и подэтапы. Работа «Исследование характеристик потока с дисперсной фазой в инерционных аппаратах» может быть разделена на следующие этапы:

1. Планирование работы:

1.1. Изучение литературы и патентной документации;

1.2. Изучение существующих систем очистки гранулированного ПЭ и воздуха.

2. Расчетная часть:

2.1. Разработка метода расчета процесса сепарации частиц в криволинейном канале при турбулентном движении гранулированного ПЭ со стружкой.

3. Обработка результатов работы:

3.1. Обсуждение результатов;

3.2. Выполнение графической части;

3.3. Оформление отчета.

В данной НИР включается основная заработная плата научных работников и инженерно-технических работников (в нашем случае магистранта) непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы приводится ниже.

Величина заработной платы вычисляется по формуле:

$$ЗП = ЗП_T + ЗП_D + ЗП_П, \quad (53)$$

где $ЗП_T$ – тарифный фонд заработной платы (по окладам);

$ЗП_{д}$ – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск);

$ЗП_{п}$ – доплаты за условия работы и проживание.

$ЗП_{т} = 10000$ руб.

$ЗП_{т} = 1400$ руб.

Выплаты за неотработанное время составляют для руководителя – 16 %.

$ЗП_{д} = 0,16 \cdot 10000 = 1600$ руб.

Выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентам), для города Томска районный коэффициент – 30%.

$ЗП_{п} = 0,3 \cdot 10000 = 3000$ руб.

Итого заработная плата составит:

Для руководителя: $ЗП = 10000 + 1600 + 3000 = 14600$ руб.

Для магистранта: $ЗП = 1400$ руб.

В таблице 14 приведены результаты расчета заработной платы сотрудников.

Таблица 14 – Затраты на оплату труда

Должность	$ЗП_{осн}$ за месяц, руб.	Срок работ, мес.	Сумма, руб.
Руководитель	14600	4	58400
Магистрант	1400	4	5600
Всего			64000

4.5 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды отражают обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования (в размере 2,9%), пенсионного фонда (в размер 22%),

государственного фонда занятости и медицинского страхования (в размере 5,1%). Они взимаются в виде единого социального налога, который составляет в сумме 30%.

$$\text{ОСН} = 3П \cdot 0,30 = 19200 \text{ руб.}$$

4.6 Амортизационные отчисления

Для того чтобы посчитать амортизационные отчисления необходимо знать стоимость оборудования. В процессе работы использовались компьютер, лазерный принтер и калькулятор.

1. Амортизация для компьютера:

$$A_1 = H_A \cdot K, \quad (54)$$

где H_A - норма амортизации;

$$H_A = 1 / T_{\text{службы}};$$

$$T_{\text{службы}} = 5 \text{ лет};$$

K – затраты (21000 руб.);

$$A_1 = 21000 \cdot 1/5 = 4200 \text{ руб.}$$

2. Амортизация для принтера:

$$H_A = 1 / T_{\text{службы}};$$

$$T_{\text{службы}} = 5 \text{ лет};$$

K – затраты (5000 руб.);

$$A_2 = 5000 \cdot 1/5 = 1000 \text{ руб.}$$

3. Амортизация для калькулятора:

$$H_A = 1 / T_{\text{службы}};$$

$$T_{\text{службы}} = 3 \text{ года};$$

K – затраты (200 руб.);

$$A_3 = 200 \cdot 1/3 = 67 \text{ руб.}$$

$$\sum A = 4200 + 1000 + 67 = 5267 \text{ руб.}$$

Таким образом, амортизационные отчисления составляют 5267 руб. в год. Амортизационные отчисления за 4 месяца составят 1756 руб.

4.7 Прочие затраты

Прочие затраты включают в себя непредвиденные расходы, которые могут возникнуть в процессе исследований. Затраты на прочие расходы принимаем в размере 10% от фонда заработной платы.

$$ПЗ = 0,1 \cdot 64000 = 6400 \text{ руб.}$$

4.8 Накладные расходы

В накладные расходы входят затраты на оплату помещения, электро- и теплоэнергию. Накладные расходы составляют 140% от фонда заработной платы.

$$НР = 1,4 \cdot ЗП = 1,4 \cdot 64000 = 89600 \text{ руб.}$$

Таким образом, мы получили смету затрат на выполнение научно-исследовательской работы (таблица 15).

Таблица 15 – Смета затрат на выполнение НИР

Статьи расхода	Сумма, руб.
Материальные затраты	400
Затраты на оплату труда	64000
Отчисления на соц. нужды	19200
Амортизация	1756
Прочие затраты	6400
Накладные расходы	89600
Всего	181356

Таким образом, себестоимость нашей разработки составила 181356 рублей.

Произведем оценку рисков. Определение рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков поможет при реализации проекта избежать опасных факторов. Далее производится оценка важности рисков. При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Оценки важности рисков приведены в таблицах:

Таблица 16 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Низкая квалификация ремонтного персонала	0	2	0,071	0
2	Непросвещенность компаний в области инерционных аппаратов	50	5	0,178	8,928
3	Бюрократические проволочки на стадии регистрации	50	8	0,285	14,285
4	Несоблюдение техники безопасности	25	7	0,25	6,25
5	Увеличение нагрузки на персонал	50	5	0,178	8,928
6	Отсутствие корпоративных стандартов	75	1	0,035	2,678
	Сумма		28	1	41,071

Таблица 17 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i * w_i$
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополизированность рынка	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 18 – Политические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	Снижение приоритета Правительства РФ в области промышленных технологий	25	7	0,466	11,666
2	Смена власти	0	1	0,066	0
3	Угроза национализации	0	1	0,066	0
4	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	75	6	0,4	30
	Сумма		15	1	41,666

Таблица 19 – Технологические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
4	опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 20 – Научно-технические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	создание новых методов очистки ПЭВД	75	7	0,145	10,937
3	риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208
6	несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков (таблица 21), который дает общую оценку в 43, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий.

Таблица 21 – Общие риски

№ п/п	Риски	P _i	b _i	w _i	b _i *w _i
1	Социальные	6	0,162	41,071	6,660
2	Экономические	9	0,243	46,568	11,327
3	Политические	4	0,108	41,666	4,504
4	Технологические	8	0,216	32,142	6,949
5	Научно-технические	10	0,270	47,395	12,809
Итого			9		43

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками. Рекомендуемые мероприятия приведены ниже.

Социальные риски:

1. Низкая квалификация ремонтного персонала - не скупиться на зарплату высококвалифицированному персоналу, затратить время на поиск персонала;
2. Непросвещенность компаний в области инерционных аппаратов – писать статьи в научно-популярных изданиях, проводить работу с инвесторами;
3. Бюрократические проволочки на стадии регистрации – запастись терпением;
4. Несоблюдение техники безопасности – применять информационные стенды и сообщения, обязательное получение допуска по ТБ, ведение журнала ТБ;
5. Увеличение нагрузки на персонал – организация режима труда-отдыха, премирование добросовестных работников;
6. Отсутствие корпоративных стандартов – проведение коллективных мероприятий, «корпоративных пятниц».

Экономические риски:

1. Инфляция – закладывание в бюджет дополнительных потерь финансовых средств от инфляции;
2. Экономический кризис – прогнозирование экономической ситуации;
3. Недобросовестность поставщиков – поиск добросовестных и проверенных поставщиков;
4. Непредвиденные расходы в плане работ – закладка в бюджет и план работ дополнительных расходов;
5. Снижение уровня спроса на продукцию – проведение рекламной кампании;
6. Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополизированности рынка – проведение рекламной кампании за рубежом, поиск опытных экономистов;
7. Колебания рыночной конъюнктуры – отслеживание рынка «спроса-предложение», прогнозирование экономической ситуации;

8. Отсутствие в числе сотрудников экономистов – поиск квалифицированных специалистов;
9. Низкие объемы сбыта – поиск покупателей, проведение рекламных кампаний.

Технологические риски:

1. Возможность поломки оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей, качественный монтаж и эксплуатация оборудования;
2. Низкое качество поставленного оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей;
3. Неправильная сборка оборудования – качественный монтаж и эксплуатация оборудования;
4. Опасность для работающего персонала и аппаратуры – проведение мероприятий по ТБ.

Научно-технические риски:

1. Развитие конкурентных технологий, создание новых методов синтеза, риск невозможности усовершенствования технологии – искать и рассматривать всевозможные пути оптимизации;
2. Отсутствие результата в установленные сроки – премирование и штрафные санкции к ответственным за выполнение работ по плану, отслеживание времени начала и окончания работ, четкого графика;
3. Получение отрицательного результата при внедрении в производство – согласование и контакт с возможными покупателями продукта;
4. Несвоевременное патентование – назначение ответственных за написание и оформление патентных документов.

Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении вышеуказанных мероприятий, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при реализации этапа опытно-конструкторских работ следует обратить внимание на научно-технические и технологические риски.

4.9 Выводы по главе

Исследования характеристик потока с дисперсной фазой в инерционных аппаратах позволят разработать новые системы очистки воздуха и гранулированного полиэтилена, повысить эффективность существующих систем очистки. Экономическое обоснование предлагаемой реконструкции основано на усовершенствовании различных устройств технологической схемы очистки ПЭВД, не требующей больших финансовых затрат и имеющих небольшой срок окупаемости.

Снизить себестоимость получаемой продукции можно в результате продуманной реконструкции (замены) различных устройств на производстве.

Список публикаций

Razva, Aleksandr Sergeevich. Indication of connectivity of the disperse material [Electronic resource] / A. S. Razva, M. V. Vasilevsky, V. Rykov // MATEC Web of Conferences. — Les Ulis: 2015. — Vol. 23 : Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment. — [01035, 4 p.]. — Title screen. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.

Участие в конференции "**Современные техника и технологии**" в 2015 году

Список использованной литературы

1. "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 г. №96 -ФЗ.
2. "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 г. №7-ФЗ.
3. А. с. № 1256816 (СССР). Устройство для очистки зерновых и гранулированных материалов от примесей /М. В. Василевский, А. Т. Росляк, Ж. А. Анисимов, Б. Г. Свищев, Н. А. Кочетков, В. К. Гордеев. — Оpubл. в Б. И.,1986, № 34.
4. А. с. № 1505566 Устройство для очистки газа от пыли / М. В. Василевский, А. Д. Колмаков, Ж. А. Анисимов, А. Ф. Травников, П. Н. Зятиков, А. Т. Росляк, В. П. Дорогин – Оpubл. в Б. И., 1989, № 33.
5. А. с. № 1554985 (СССР). Способ сепарации из воздушного потока наэлектризованной примеси/М. В. Василевский, Ж. А. Анисимов, Б. Г. Свищев, Н. А. Кочетков, В. К. Гордеев — Оpubл. в Б. И.,1990, № 13.
6. Щукин В.С. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – 2-е изд. перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1980. – 240 с.
7. Теверовский Е.Н., Дмитриев Е.С. Перенос аэрозольных частиц турбулентными потоками. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 160 с.
8. Вальдберг А.Ю., Зайцев М.М., Падва В.Ю. Применение теории подобия при экспериментальных исследованиях и конструировании циклонных аппаратов. – Химическое и нефтяное машиностроение, 1968, №3 – с.7.
9. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности.- Л.: Химия, 1982.- 256 с.
10. Карпухович Д.Т.Улиточные пылеуловители //Водоснабжение и санитарная техника.1972,№7,с.28-31.
11. 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.
12. А.С. 1611405 Пылеотделитель / Василевский М.В., Анисимов Ж.А., Козлова В.В.Росляк А.Т. ,Зятиков П.Н. – Оpubл. в Б.И.1990, № 45.

13. Василевский М.В., Зыков Е. Г. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 86 с.
14. 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.69-101.
15. Шваб В.А., Шваб А.В. О модели механизма турбулентности в установившихся пристенных турбулентных потоках. / Методы гидроаэромеханики в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977 – с.69-101.
16. Л.А. Коршунова «Технико-экономическое обоснование проектов по инженерной защите окружающей среды». Изд. ТПУ, 2005.
17. Крепша И. В., Свиридов Ю. Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. Пособие. – Томск: Изд – во ТПУ, 2003. – 144с.
18. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 824 с.
19. Мунипов В. М., Зинченко В. П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учебник. – Логос, 2001. – 356с.:ил.
20. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 280 с.
21. Страус В. Промышленная очистка газов. Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
22. А.С. 1106756 Затвор для непрерывной выгрузки сыпучих материалов из емкости под разрежением / М.В. Василевский, Ж.А. Анисимов, Ю.А. Чернов.- Б.И. 1984, №29.
23. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
24. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. М.: Стройиздат, 1980. – 48 с.

25. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 1989. – 186с.
26. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
27. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1983. – 13 с.
28. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Госкомсанэпидемнадзор России, 1996. – 56 с.
29. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов; Под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400с., ил.
30. ГОСТ 12.2.032 – 78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
31. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 175 с.