

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический

Направление подготовки 03.04.02 Физика

Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

---

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы

**Оценка концентрирования частиц в закрученном потоке  
инерционного аппарата**

УДК 533.6.01:532.543

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ51	Наумкин Александр Сергеевич		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 03.04.02 Физика

Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТПТ

\_\_\_\_\_ Кузнецов Г. В.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ФМ51	Наумкин Александр Сергеевич

Тема работы:

**Оценка концентрирования частиц в закрученном потоке инерционного аппарата**

Утверждена приказом директора

№235/с от 27.01.17 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.17 г.

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

*(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.).*

Объект исследования – воздушный поток содержащий механические включения (цемент М-400). Требования к продукту – математическая модель распределения частиц в воздушном потоке движущемся в криволинейном канале; Экспериментальные мероприятия по определению эффективности цилиндрического концентратора. Исходные данные: физические характеристики механических включений и воздушного потока.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области. Математическое моделирование распределение частиц в воздушный поток движущемся в криволинейном канале. Оценка эффективности цилиндрического концентратора. Обсуждение результатов исследования. Формулировка выводов и заключения.</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<p>Рисунки с полями относительной концентрации для различных параметров потока и материала включений. Рисунки с зависимостью эффективности и гидравлического сопротивления концентратора от его геометрических характеристик. Количество слайдов шт.</p>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна

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

<p>Введение, обзор литературы, материалы и методы, результаты, заключение (русский), обзор литературы (английский)</p>
--

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ФМ51	Наумкин Александр Сергеевич		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 03.04.02

### Физика, магистратура

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>	
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики металлов и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных, тепловых свойств твердых тел.
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий

	<p>подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики металлов, материаловедения и термообработки.</p>
P10	<p>Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности</p>
P11	<p>Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований</p>

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

### **Определения**

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Фильтр – аппарат, приспособление или пористое тело, предназначенные для очищения газа или жидкости от взвешенных в них твердых или жидких частиц путем процеживания.

Очистка (природного газа) – удаление из природного газа нежелательных компонентов, затрудняющих его использование в качестве топлива или сырья или загрязняющих окружающую среду

Компримирование – повышение давления газа с использованием компрессора.

Пылеуловитель – аппарат для очистки газа от взвешенных частиц.

Сепарация - разделение жидких и газообразных неоднородных систем, а также твердых или жидких смесей под действием каких-либо сил.

Случайная погрешность измерений – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом в серии повторных измерений одной и той же величины, проведенных в одних и тех же условиях.

Систематическая погрешность измерений – погрешность, изменяющаяся во времени по определённому закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени).

### **Обозначения и сокращения**

СПГ – сжиженный природный газ;

ОПО – опасный производственный объект;

УКПГ – установка комплексной подготовки газа;

УОГ – установка очистки газа;

ДЭГ – диэтиленгликоль;

## Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные.»
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»;
3. СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95»;
4. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»;
5. ГОСТ 12.1.006-84. «СБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
6. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
8. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
9. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
10. ГОСТ 12.1.045-84 «СБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
11. ГОСТ 12.4.124-83 «СБТ. Средства защиты от статического электричества»;
12. РД 39-22-113-78 «Временные правила защиты от проявлений статического электричества на производственных установках и сооружениях нефтяной и газовой промышленности»;
13. СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства»;
14. ГОСТ 1516.3-96 «Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции»;

- 15.СНиП 2.09.04.77 «Административные и бытовые здания»;
- 16.ГН 2.2.5.1313-03 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;
- 17.ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения»;
- 18.СанПиН 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов;
- 19.СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- 20.ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;
- 21.СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видео-дисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113 с., 21 рис., 19 табл., 46 источников, 2 прил.

Ключевые слова: математическое моделирование, криволинейный канал, воздушный поток с механическими примесями, оценка концентрирования.

Объектом исследования является воздушный поток с механическими включениями. Рассматриваются механические примеси – цемент М-400.

Цель работы – разработка математической модели и численное исследование распределения частиц в воздушном потоке движущемся в криволинейном канале, с анализом эффективности цилиндрического концентратора при различных его геометрических характеристик.

В процессе исследования проводились формулировка и разработка физических и математических моделей распределения частиц в воздушном потоке движущемся в криволинейном канале.

В результате исследования разработана двумерная математическая модель, получены распределения относительных концентраций для различных параметров механических примесей. Проведен ряд экспериментальных работ по определению сепарационных характеристик концентратора.

Основные технологические характеристики: программная реализация двумерной математической модели, выполненная на языке высокого уровня типа Pascal.

Степень внедрения: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: улучшение характеристик концентраторов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в разработке рекомендации при конструировании новых моделей концентраторов.

В будущем планируется провести вычислительные эксперименты по моделированию трехмерного распределения частиц в воздушном потоке движущемся в криволинейном канале.

## Оглавление

Введение	12
1. Обзор литературы	14
1.1 Предварительная очистка природного газа	14
1.2 Формирование циклонных потоков в инерционных сепараторах	15
1.2.1 Прямоточные циклоны	15
1.2.2 Противоточные циклоны	19
1.2.3 Спирально-вихревые аппараты	23
1.3 Очистка природного газа на установках комплексной подготовки газа (УКПГ)	24
2. Методы решения	32
3. Модель двухфазного потока в закрученном канале	33
3.1 Физическая постановка задачи	33
3.2 Математическая модель	34
3.3. Результаты и их обсуждение	39
4. Эффективность противоточного цилиндрического концентратора для различных конструктивных исполнений	44
4.1 Методика расчета погрешности	44
4.2 Опытно-экспериментальные мероприятия	46
4.3 Результаты и их обсуждение	58
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
5.1 SWOT-анализ	60
5.2 Экспертная оценка	62
5.3 Календарный план работ и оценка времени их выполнения	65
5.4 Смета затрат на проект	68
5.4.1 Материальные затраты	68
5.4.2 Амортизация компьютерной техники	69
5.4.3 Затраты на заработную плату	69

5.4.4 Затраты на социальные нужды	70
5.4.5 Прочие затраты	70
5.4.6 Накладные расходы	71
5.5 Смета затрат на материалы для реализации проекта	71
6. Социальная ответственность	75
6.1 Производственная безопасность	75
6.1.1 Электробезопасность	76
6.1.2 Пожарная безопасность	77
6.1.3 Освещенность рабочей зоны	78
6.1.4 Микроклимат в лаборатории	79
6.1.5 Шум и вибрация в помещении	81
6.2 Экологическая безопасность проекта	82
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
Заключение	88
Список публикаций студента	89
Список использованной литературы	90
Приложение А Обзор литературы (на английском языке)	95
Приложение Б Листинг программы в Pascal	111

## Введение

С каждым годом, в мире растет потребление энергоресурсов вне зависимости от их происхождения, будь это уголь, торф, нефть или газ. Развитие новых технологии добычи, переработки и доставки до потребителя энергоресурсов позволяет снизить стоимость единицы энергии для конечного потребителя. Логистические затраты энергоресурсов составляют значительную долю всех издержек от момента добычи, до поставки единицы энергии потребителю.

Как известно, наибольшие залежи природного газа и газового конденсата расположены далеко от конечных потребителей, поэтому нахождение наиболее экономически выгодной метода доставки энергетического сырья до потребителя является очень важной задачей экономики энергетической отрасли страны.

Одним из наиболее распространенным и экологически чистым природным энергетическим ресурсом является природный газ.

Наиболее часто для транспортировки природного газа используют трубопроводных транспорт, но на относительно дальних расстояниях данный вид транспорта имеет существенные недостатки, а именно большие гидравлические потери, отсутствие мобильности, большое время и большие капитальные затраты на строительство магистралей. В следствии этого, для транспортировки на дальние и сверхдальние расстояния природный газ сжижают и перевозят автомобильным или морским транспортом до потребителя, что является наиболее экономически выгодно [1].

В развитых странах промышленное производство сжиженного природного газа (СПГ) берет начало еще в 70-х годах, но в России данная отрасль промышленности получила свое развитие совсем недавно [2].

Предварительная очистка сырого газа перед его переработкой необходима. Наиболее распространенные приборы отделения газового потока от механических примесей являются циклоны.

Цель данного исследования является разработка математической модели и численное исследование распределения частиц в воздушном потоке движущемся в криволинейном канале. Экспериментальные мероприятия по определению эффективности цилиндрического концентратора.

Объектом исследования является воздушный поток с механическими примесями. Рассматривается типичная механическая примесь – пыль цемента М-400.

# 1. Обзор литературы

## 1.1 Предварительная очистка природного газа

Для надежной и безаварийной работы оборудования на опасном производственном объекте (ОПО), а также для предания товарного вида газу, при сжижении природного газа необходимо максимально эффективно очистить природный газ от влаги и механических примесей, которые содержатся в природном газе, поступающем из скважины.

В настоящее время используются сепарационные методы очистки от механических примесей и капельной влаги, а именно: гравитационные, сепарационные, центробежные и фильтрующие конструкции сепараторов.

Для более глубокой осушки газа используют абсорбционные установки.

В согласно стандарту NAS-1638 товарный природный газ должен соответствовать определенным классам чистоты, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы загрязнения природного газа, согласно стандарту NAS-1638

Класс чистоты	Количество частиц в 100 см <sup>2</sup> пробы при размере частиц, мкм				
	5 - 15	15 - 25	25 - 50	50 - 100	Более 100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	256	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	256	45	8
6	16000	2850	508	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182000	32400	5760	1024

## 1.2 Формирование циклонных потоков в инерционных сепараторах

В настоящее время широкое распространение получил процесс очистки газовой смеси от механических включений при его криволинейном движении. Данный процесс возможно разделить на следующие этапы: закручивание смеси газового потока, концентрирование и извлечение частиц из сепарационной зоны, формирование слоя примесей в приемнике, удаление примеси из приёмника. [3-9].

При нарушении эффективного протекания хотя бы одного этапа данного процесса, процесс очистки становится мало эффективным.

Центробежные сепараторы подразделяются на следующие виды:

1. ротоклон, прямоточные циклоны сепаратор
2. высокоэффективный противоточный циклон
3. спирально-вихревой аппарат

### 1.2.1 Прямоточные циклоны

В прямоточном сепараторе закручивание потока смеси происходит с помощью лопаточного или бокового ввода. Механические примеси из потока перемещаются к выгодному отверстию и поступает в приемник. При малых крутках потока линейная скорость на оси равна нулю и возрастает при увеличении радиуса. При больших крутках движение основного потока происходит в периферийной области.

Поток, который распространяется в осевом направлении, характеризуется числом куртки, которое равняется отношению аксиального потока момента количества движения к аксиальному полному количеству движения в произвольном сечении [10-12].

Аксиальный поток момента и аксиальное полное количество движения определены значениями скорости и плотности в определённом сечении потока.

Известно, что поле тангенциальных скоростей практически не зависит от вида завихряющего устройства в трубах круглого сечения и зависит от числа куртки.

Авторы работ [13,14] предоставляют анализ газовых потоков в камерах, которых используется тангенциальный ввод потока в верхней ее части, при различных конструктивных соотношениях и различной шероховатостью стенок. Направление газового потока – сверху вниз. Объем циклона разделяется на пять кольцевых зон. Два газовых потока, которые несут основную массу, нисходящи: пристенный – 1 и приосевой – 3. Эти два потока содержат максимумы аксиальной и тангенциальной скоростей. Зона 2 расположена между газовыми потоками 1 и 3. Подъемные турбулентные вихри ответвляются от газовых потоков 1 и 3 и при смешивании создается поток 2.

Формируются обратные аксиальные скорости и провал окружной скорости в зоне 2. Из-за этого данные скорости седлообразны и изменяются по высоте. В зоне 4 течение газа происходит в сторону глухого торца, в зоне 5 в сторону выходной амбразуры. На оси циклона поток движется внутрь. Число Россби является характеристикой аэродинамики потока. Число Россби определяется как площади входных сопел деленное на площадь сечения камеры. При большем значении этого параметра в профилях аксиальных скоростей наблюдается исчезновение провалов и обратных токов в зонах 4 и 5, а вместо их формируется один мощный опускной поток. Конфигурация сопел (отношение ширины к высоте сопла) не оказывает влияние как на структуру газового потока, так и на мощность опускного и подъемного токов. При удалении сопел от свода наблюдается исчезновение обратного потока 2. При перемещении сопел к середине происходит увеличение значений коэффициентов сохранения тангенциальных скоростей. При уменьшении выходного диаметра доля подъемного газа имеет возрастающую тенденцию и при достижении относительного выходного диаметра менее 0,5 она становится больше опускного. При достижении относительных длин камер больше 2,5 в зонах 4 и 5 не имеется обратных токов и провалов профилей аксиальных скоростей.

Все аэродинамическое сопротивление циклона делится на три доли: входной патрубков, трение и создание крутки [15,16].

Вся энергия, преобразования аэродинамической машиной тратится для создания вихревого движения, т.е. крутки. Отношение удельной энергии крутки к перепады давлений на входном и выходном патрубках характеризует степень аэродинамического совершенства циклона. Динамическое давление тангенциальных скоростей характеризует совершенство вихревой камеры. Этот параметр осредняется по всему объему циклона и дает представление о степени интенсивности сепарации частиц. При проведении оценки степени совершенства камеры, результаты не превышают 10%. Представлен наиболее рациональный диапазон относительного выходного диаметра 0,4 – 0,65, число сопел 2 – 4, относительная длина 1,5 – 1,8.

В работе [17] авторы представили сопротивление циклона как сумму сопротивлений в тангенциальных входных каналах и потерь в основном объеме камеры и с выходным потоком. Концентрация частиц и конфигурация подвода являются характеристиками сопротивления входных каналов циклоне. От типа движения газового потока (прямого, противоток) и от размеров выходного канала зависит сопротивление камеры циклоне. Представлены результаты данных, полученные для циклонов с одинаковыми геометрическими характеристиками, но с различными размерами выходного канала. Приведен вывод, что потери давления в циклоны, в наибольшей степени характеризуется потерями в входном канале. Так, показано, что при уменьшении значения относительного диаметра с 0,45 до 0,3, при не изменении других параметров, происходит увеличение сопротивление в два раза. При использовании верхнего выходного канала, т.е. противоток, сопротивление увеличивается в два раза относительно использования прямотока. Это связано с тем, что при использовании противотока происходит U - образное траектория движения, в связи с этим поток газа проходят поперечное сечение дважды с поворотом

потока на 180 градусов и со скоростями, которые на много больше, чем при однократном проходе через прямоточные циклоны.

Авторы работы [18] при определении сопротивления циклоны, также учитывают затраты энергии на перемещение дисперсной фазы. Принимается, что данные затраты равняется энергии, которая приобретается массой дисперсного материала на выходе из циклона. Считается, что при введении дисперсной фазы не производит нарушение потенциальности течения в камере, что позволяет составить баланс моментов количества движения дисперсной и газовой фаз. Принято, что пылевые частицы дисперсного потока имеют траекторию движения по периферии циклон и образуют пылевидное кольцо вблизи от лопастей завихрителя, пылевидное кольцо имеет толщину меньше, чем радиус камеры.

Эффективность противоточных циклонов больше, чем эффективность прямоточных циклонов. Несмотря на это, прямоточные циклонные аппараты широко применяются в первых ступенях систем отчистки [19].

Это связано с тем, что прямоточные циклоны обладают характеристиками, которые предъявляются к первым ступеням систем очистки, а именно: наименьшее гидравлическое сопротивление, не сложность конструкции, относительно небольшие габариты и удобство монтажа.

Авторами работы [20] исследован прямоточный циклон ЦКТИ с жалюзийным раскручивателем. По окончании работы определены поля скоростей, получены характеристики турбулентности, фракционные коэффициенты. Отношение числа Стокса к числу Рейнольдса для камеры в степени 0,1 приведено, как обобщающий критерий. Получена корреляция эффективности циклона от диаметра самого циклона и размера механических включений в потоке.

В работе [21] исследован прямоточный концентратор с диаметром 1,25 м, относительные длины рабочей зоны принимают значения в интервале от 1,1 до 1,5, скорость газового потока равняется 14 м/с, степень отсоса 20% при угле

закрутки потока в  $50^\circ$ . Эффективность исследованного концентратора равна 62% для частиц с размерами 10 мкм и 85% для частиц с 40 мкм. По окончании работы получена аппроксимирующая зависимость эффективности при различной степени отвода концентрата.

Авторами работы [22] проведены сравнения эффективности очистки прямоточного циклона НВГК с сужением в форме конуса с циклоном НИИОГАЗ типа ЦН-15. Использовались следующие равные размерные характеристики: диаметр корпуса, размер газо-выводных труб. В циклоне НВГК получен больший коэффициент очистки, который возрастает при увеличении расхода. В циклоне ЦН-15 при изменении расхода газового потока достигается максимум эффективности сепарации. Сопротивление противоточного циклона ЦН-15 больше, чем сопротивление циклона НВГК.

Зоны в которых, имеется повышенная концентрация мелкодисперсных частиц обнаружена в исследовании [23]. Образование цилиндрических структурных поверхностей, происходит в камерах с относительно малыми размерами выходного патрубка, где и происходит формирование вихревых течений, при нулевых значений аксиальных скоростей частицы. Частица остается на стационарной равновесной орбите, когда все внешние силы, действующие на частицу равны нулю.

### 1.2.2 Противоточные циклоны

Разделение примесей в газовом потоке производится по высоте противоточного циклона. В настоящее время разработано и используется большое количество конструктивных особенностей противоточных циклонных аппаратов.

В циклонах НИИОГАЗ (ЦН) [24] газовый поток с механическими примесями поступает в камеру циклона со скоростью 15-25 м/с, через тангенциально расположенный отвод.

Корреляция интенсивности корреляционных течений от угла наклона входного патрубка к образующей корпуса циклона, представлена в работе [25]. Длина камеры в относительных величинах равняется 1,1. При уменьшении угла ввода газового потока в камеру происходит увеличение мощности периферийного опускного потока, что способствует достижению большего количества газа к глухому торцу. Минимальная циркуляция достигается при угле в  $78^\circ$ , дальнейшее уменьшение угла приводит к уменьшению расхода газового потока вблизи глухого торца. Крутка и аэродинамическое совершенство подвергается незначительным изменениям при уменьшении угла до  $65^\circ$ .

Распространение кольцевой струи по стенке вниз подвергается постепенному размыванию из-за радиального оттока жидкости к центру [26]. У завихрителя аксиальная скорость больше в два раза на середине камеры.

Авторами работы [27] проведен ряд экспериментальных мероприятий и анализ полученных данных, при вихревом течении в цилиндрическом противоточном циклоне. Распространение дыма практически не различалось при изменении угла от  $10^\circ$  до  $30^\circ$  к горизонту. Увеличение длины камеры до 12 диаметров, также не вызвало существенных изменений в распространении дыма. При дальнейшем увеличении длины камеры замечен режим периодического течения. В таком течении центральный вихрь не касался центра дна, а касался стенки циклона. Точка касания изменялась со временем.

Аэродинамическое изучение батарейных циклонов проведены авторами работы [28]. Степень отводимых с механическими примесями газов влияет на сопротивление циклона. Характерная особенность противоточного циклона заключается в формировании около выходного патрубка зон с большой степенью циркуляции.

В [29,30] разработаны циклоны с меньшими энергетическими затратами на сопротивление циклона. В данных конструкциях радиальная скорость потока неравномерна. Разделительная поверхность является не постоянной, из-за того, что вихрь движется прецессионно. Понижение эффективности происходит за

счет образования обратных токов. В погружной трубе потеря энергии достигает до 90% от всей потери затраченной на преодоление циклона. В работе [31] представлена корреляция коэффициента сопротивления циклона при изменении относительной длины выхлопного отвода циклона. Оптимальное значение относительной длины выхлопного отвода лежит в интервале значений от 3 до 4.

В работе [32] даны методические рекомендации для расчёта закручивающего устройства, приведена система уравнений для расчета осесимметричного течения учитывающая потери энергии и моментов импульсов, которая дает оценку потерь энергии при изменении значения степени закручивания газового потока. Представлены принципы энергетических потерь при закручивании газового потока. В [33] авторами сделан вывод, о том, что при увеличении числа, которое обратно пропорционально числу Россби, число крутки возрастает. Однако, при увеличении данного числа до значения 2, скорость возрастания снижается, протекающая с большими энергопотерями, вследствие того, что отсутствуют эффективные раскручивающие устройства диффузорного типа, которые преобразуют скоростной напор в давление.

В работе [34] исследовано стационарное турбулентное движения газового потока, содержащего включения, по закрученной траектории при различных окружных скоростях. Принималось равенство коэффициентов турбулентного перемешивания и диффузии, газовой фазы и частиц соответственно. Турбулентный процесс считался изотропным. Тангенциальная скорость частиц, считается равной скорости газового потока в осредненном движении.

В работе [35] приведены эффективности циклонов с различными конструкциями корпуса, а именно: сужающийся конус; расширяющийся конус; цилиндр. В данных аппаратах применялись равные по размерам следующие конструктивные элементы: входной и выходной патрубков; пылеприемник. Циклонный аппарат корпус которого представлял вид обратного конуса имел сопротивление меньше на 20%, чем циклонный аппарат в виде сужающегося конуса. В коническом циклонном аппарате максимум эффективности достигался

97.5% при значении скорости входа газового потока 13 м/с, дальнейшее увеличение скорости приводило к уменьшению эффективности, так, при скорости входа газового потока 18 м/с значение эффективности равнялось 96%. При работе циклона, с корпусом в виде обратного конуса значение эффективности при ранее указанных скоростях равнялось соответственно 97% и 98%. Значения эффективности из рассмотренных циклонов минимальны у циклона с цилиндрическим видом корпуса. По окончании работы, дана рекомендация к эксплуатации циклона с видом корпуса: расширяющийся конус.

Авторами работы [36] проведен комплекс исследований на испытательном стенде, для определения максимальной эффективности циклона при различных типах конструктивного их выполнения. Так, подвергались исследованию 4 типа конструктивного выполнения циклонного аппарата, а именно: осевой подвод потока использовался для циклонов с коническим и плоским дном; тангенциальный подвод потока использовался для циклонов с коническим и плоским дном. Наибольшая эффективность достигается при использовании тангенциального подвода газового потока в циклонах с плоским дном. Эффективность круто снижается при значении продувки меньше 1%.

Сравнение эффективности циклонов УЦ-500, ЦОЛ-3, ЦН-15 приведены в работе [37]. Для определения эффективности применялась пыль с медианным размером 12 мкм и дисперсией 2,5. Циклон ЦН-15 имеет наибольший показатель обеспыливаемости, относительно других сравниваемых циклонов. Но фракционная эффективность у циклона ЦН-15 наименьшая. Это связано с коагуляционными и взаимодействующими процессами между частиц.

Зависимость сепарационных характеристик циклонных аппаратов от скорости ввода газового потока представлена в работе [38]. Дана рекомендация использовать скорость ввода газового потока в интервале значений от 12 м/с до 18 м/с. Процесс жгутообразования влияет на эффективность циклона. При увеличении скорости ввода газового потока происходит размытие жгутов, что является причиной снижения эффективности процесса. Н.А. Фукс объясняет

данную закономерность путем влияния турбулентности и возрастания несущей способности газового потока. Такие же процессы наблюдаются в газожидкостных циклонах. При увеличении значения скорости потока газа больше 20 м/с, наблюдался вторичный унос.

Моделирование протекания процессов в циклоне рассмотрено в работе [39]. В основе для данной модели лежит то, что сумма всех сил действующих на частицу равна нулю. Принимаемые методы моделирования не учитывают поверхностные свойства частиц. Эти модели могут применяться в определенном интервале скоростей, от 5 м/с до 20 м/с, в котором примеси газового потока не создают отложения на стенках циклона.

Осаждение частиц на стенки корпуса происходит под действием броуновской диффузии и седиментации. При размере частиц более 10 мкм наблюдается седиментация, при размерах частиц менее 0,5 мкм наблюдается броуновская диффузия. Работы Медникова [40] дают объяснение процесса осаждения в интервале размеров от 0,5 мкм до 10 мкм. Основой осаждения включений газового потока является пульсация составляющих осредненной его скорости. Данное осаждение, при турбулентном течении больше на несколько порядков, чем процесс диффузионного осаждения. Сила инерции в этом случае, больше чем сила тяжести в тысячу раз. На стенке корпуса скорость осаждения не равна нулю в связи с тем, что ламинарный подслой потока перекрывается инерционным движением. В связи с тем, что скорость крупных частиц больше, чем скорость несущего потока, то данное движение протекает с импульсным взаимодействием включений газового потока с корпусом аппарата [41]. Аутогезионные свойства частиц влияют на процесс их осаждения в циклонном аппарате.

### 1.2.3 Спирально-вихревые аппараты

Skimmer - аппарат в котором газовой поток с механическими примесями поворачивается на 180°. Часть потока вместе с механическими примесями.

которые сконцентрировались у стенки поступают в специальную камеру. Другая часть потока, обеднённая механическими примесями движется через выходной патрубок.

Гидравлическое сопротивление аппарата Skimmer составляет менее 0,5 кПа. Улавливание части с размерами 95 мкм, протекает с эффективностью 85%

Аппарат Карпуховича имеет гидравлическое сопротивление 0,6 кПа. В данном аппарате газовый поток поворачивается на 270°. Эффективность улавливания частиц достигает 85%, при размере частиц 28 мкм. Данный аппарат имеет улиточную форму корпуса.

В некоторых пылеуловителях отсутствует спрямляющие аппараты. в связи с этим, происходит образование обратного течения. Эффективность данных пылеуловителей для частиц с размерами 20 мкм равняется 83%. Так, в аппарате разгрузитель-пылеуловитель НИИ ПММ частицы возвращаются в приемник под действием вихревого замка, поэтому частицы малого размера протекают через приемник многократно.

### 1.3 Очистка природного газа на установках комплексной подготовки газа (УКПГ)

Перед первой стадией компримирования по технологическому процессу природный газ поступает на установку очистки газа (УОГ) в котором расположены 16 сепараторов С-1 (ГП 1181.04)

Аппараты очистки газа представляют собой вертикальные цилиндрические емкости, поделенные на три секции

- а) входная секция с сепарационными элементами типа ГП 353;
- б) выходная секция с элементами типа ГПР 667;
- в) секции промывки, которая состоит из 2-х массообменных тарелок с центробежными элементами типа ГПР 340.

Центробежный элемент ГПР 353 предназначен для отделения из газа жидкостных примесей, при использовании центробежных сил, которые

возникают при закручивании потока поступающего газа. На рисунке 1 представлен центробежный элемент ГПР 353.

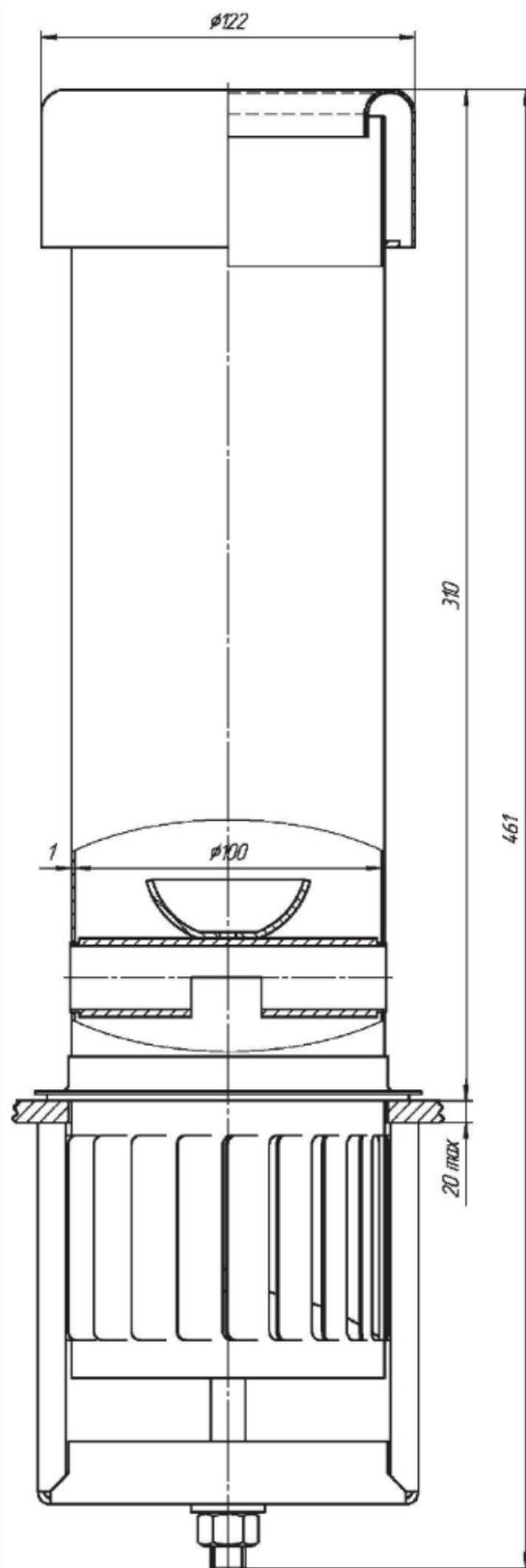


Рисунок 1 - центробежный элемент ГПР 353

На рисунке 2 представлен схематически сепаратор С-1.

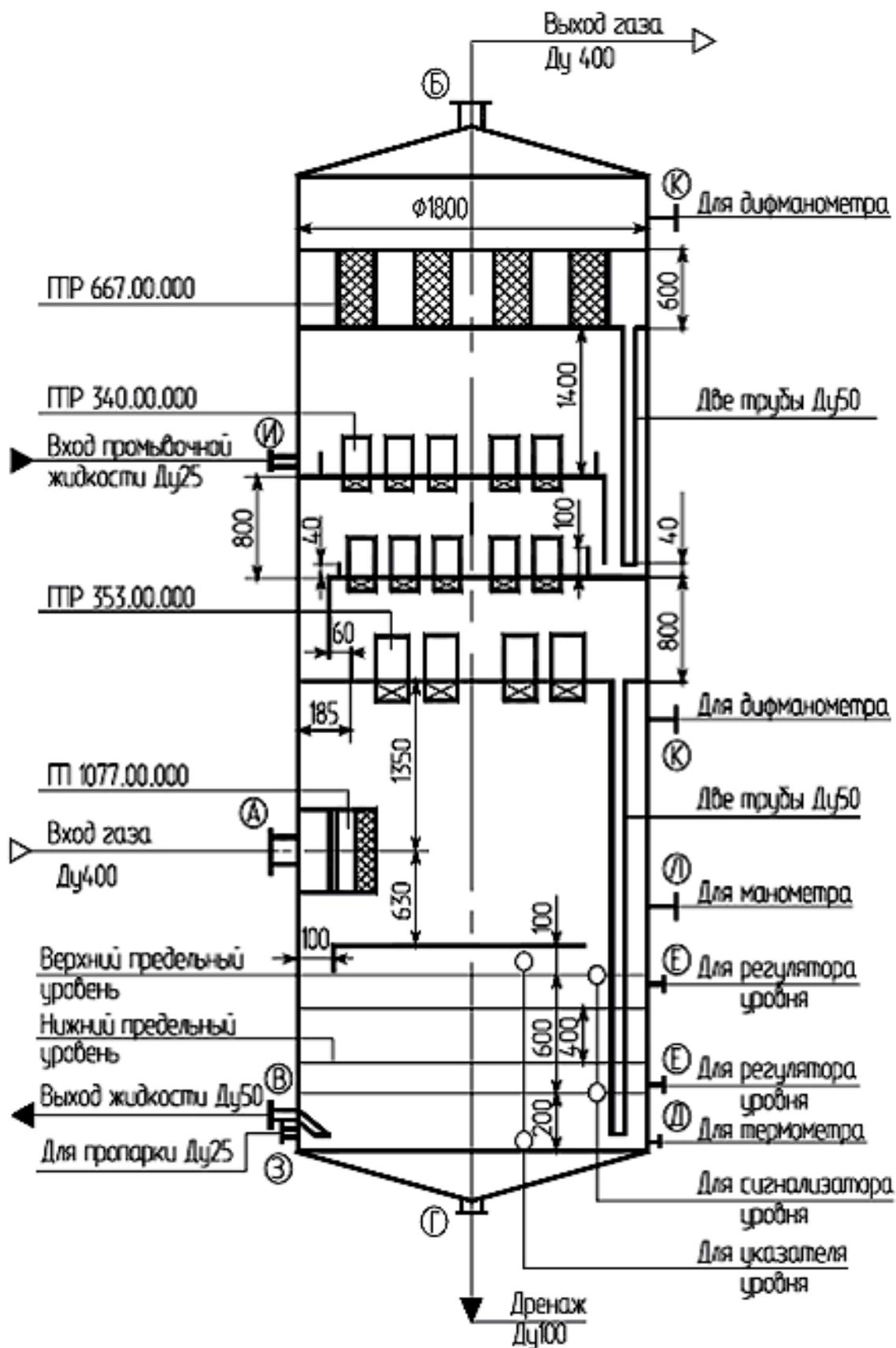


Рисунок 2 – схема сепаратора С-1

В нижней части сепаратора осуществляется сбор жидкости. Нижняя часть разделена на два отсека – один из которых предназначен для сбора пластовой воды и механических примесей из входной сепарационной секции, второй – для сбора промывочной жидкости, которая используется для орошения.

Во входной секции с сепарационными элементами типа ГП 353В осуществлено выделение капельной жидкости и механических примесей, а в массообменной, которая орошается водометанольным раствором, осуществляется насыщение газа метанолом и отмывка от солей.

Количество рабочих сепараторов определяется текущей производительностью УКПГ по газу, а также давлением пластового газа во входном коллекторе.

На некоторых УКПГ в абсорберах используются насадки, тогда данные насадки должны для эффективной работы должны иметь определенные характеристики, а именно: свободный объем и удельная поверхность насадки должны быть максимально большими; имеются каналы для прохода газа в заданном направлении; равномерное распределение потока газа поперек аппарата; высокая кратность обновления поверхности контакта фаз; малая плотность материала насадки и его максимально большая коррозионная стойкость и прочность; иметь низкое гидравлическое сопротивление [42].

На УКПГ № 9 Уренгойского газоконденсатного месторождения для подготовки природного газа к товарному виду используют аппараты ГП 502 производительность которых 5 млн. м<sup>3</sup>/сут. Высота аппарата 13500 мм, диаметр 1200 мм.

Данный аппарат, также разделен на три секции: сепарации, абсорбции и секции улова ДЭГа. ДЭГ используется в качестве абсорбента. Массообменная часть аппарата представляет собой пакет регулярных насадок. Фильтр-патроны используются типа СФП-3.00.000 из лавсанового техполотна [43].

Необходимо отметить, что как на УКПГ №6, Ямбургского нгкм, так и на УКПГ №9 Уренгойского газоконденсатного месторождения используется ДЭГ

без присадок. Авторами [44] проведены исследования при добавлении присадок, в виде  $Ni(RCOOH)_2$  в ДЭГ. Доказано, что присадка  $Ni(RCOOH)_2$  в количестве 10-20 г/т ДЭГа снижает не только пенообразование, но и давление насыщенных паров над раствором ДЭГа, также уменьшает унос абсорбента, повышает гигроскопичность гликоля, а значит и глубину осушки природного газа. Необходимо отметить, что коррозия трубопроводов и оборудования снижается.

Для очистки природного газа в цехе подготовки газа используется абсорбер А-1/1-9

В 2005 году абсорберы ГП-778.01.000 были подвержены модернизации по чертежу ДОО "ЦКБН" на ГПР 2165-01.

На рисунке 3 представлена схема абсорбера.

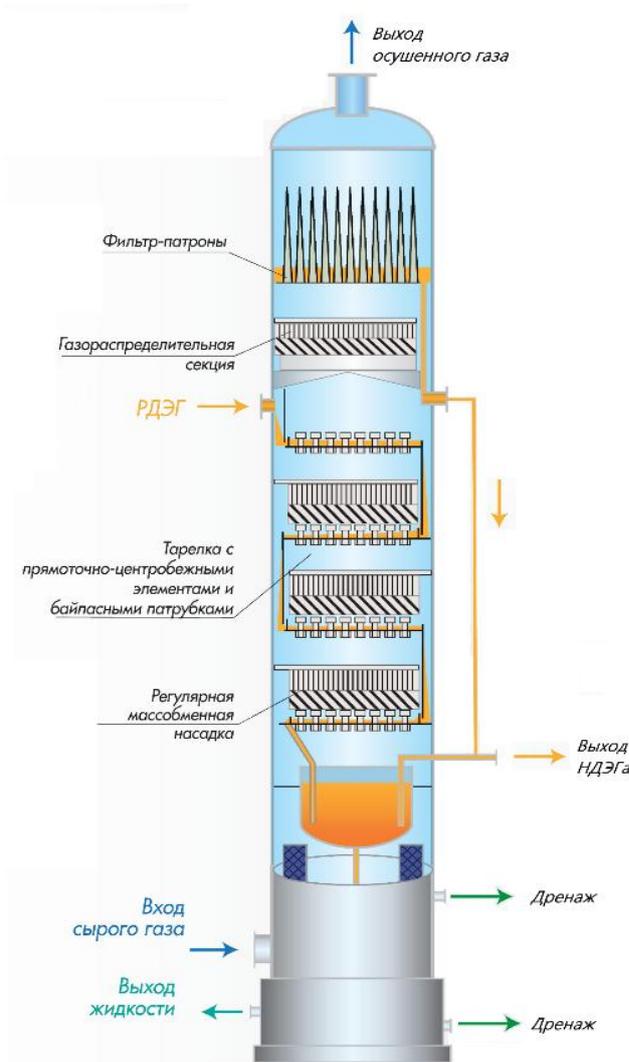


Рисунок 3 - схема абсорбера

Абсорбер представляет собой колонный аппарат диаметром 1800 мм и высотой 15 м, который состоит из 3-х функциональных секций:

- а) нижняя секция – предварительная сепарация газа (сепарационная секция);
- б) средняя секция – абсорбционная осушка газа (массообменная секция);
- в) верхняя секция – очистка газа от ДЭГа, уносимого из массообменной секции (фильтрующая секция).

Сепарационная секция А-1 состоит из узла безгидрозатворного отвода жидкости (БГЗО), который установлен в штуцере входа газа, узла входа с пескосъемником, который установлен на штуцере входа газа и расположенных над ними тарелками с патрубком для входа газа и циклонными сепарационными элементами ГПР 2130 в количестве 62 шт., на которых происходит отделение жидкости. Отвод отсепарированная жидкость поступает в бункер, который располагается под тарелками, после под воздействием сил разряжения, которые создаются завихрителем, в узел БГЗО. На рисунке 4 представлена схема минициклона ГПР 2130.

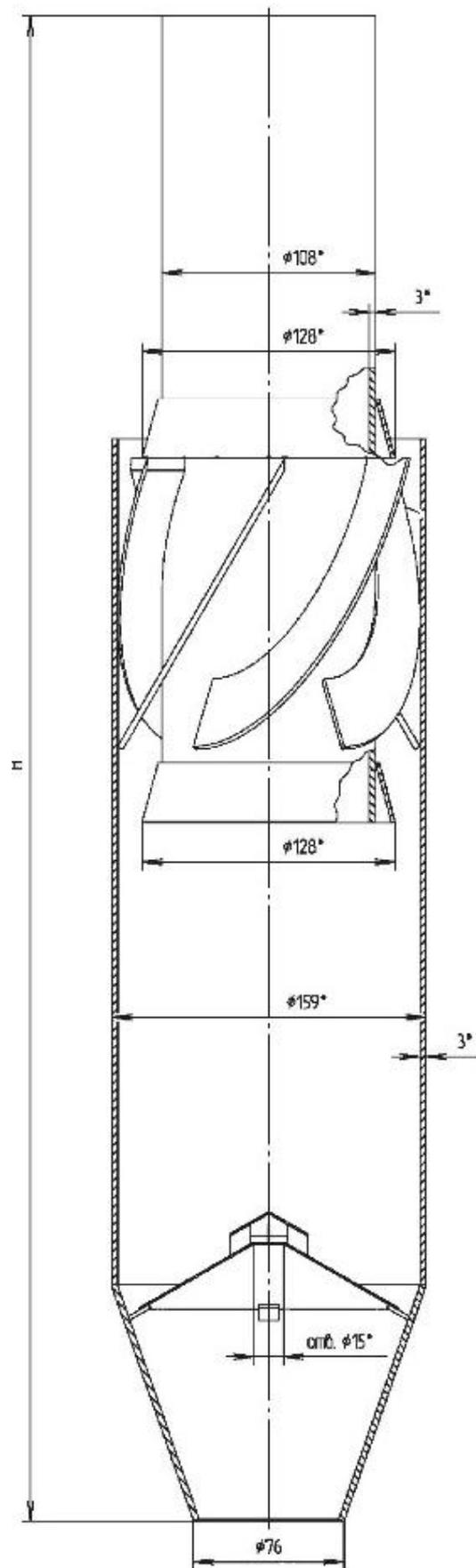


Рисунок 4 – минициклон ГПР 2130

Массообменная часть состоит из структурированной насадки конструкции ДОО «ЦКБН». Конструктивное исполнение пакетов насадки по типу ГПР1992. массообменная насадка выполнена с рифлением листа из стали 12Х18Н10Т толщиной 0.4 м, высота насадки 3,6 м (24 слоя). Распределитель жидкости для подачи РДЭГа по типу ГПР1056 расположен над верхним пакетом массообменной насадки. В выходной фильтрующей секции абсорберов А-1 №1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 в замен тарелки с фильтр-патронами и центробежными элементами установлены 2 слоя регулярной пластинчатой насадки с сетчатым жгутом.

Сепарационная тарелка с расположенными на ней мультикассетными насадками МКН-360.200.6 в количестве 14 шт. находится в выходной секции абсорбера.

Технические характеристики абсорбера:

- a) макс. производительность по газу, млн. м<sup>3</sup>/сутки – 10
- b) объемный расход РДЭГа, м<sup>3</sup>/ч – до 5,4
- c) точка росы осушенного газа при P=4,0 МПа, °С –минус14 –минус20
- d) гидравлическое сопротивление, МПа – 0,03
- e) рабочее давление, МПа – 3,0 – 4,5
- f) расчетное давление, МПа – 7,5

Из рассмотренного выше обзора литературы необходимо сделать вывод, что исследование процесса концентрирования газового потока, включающий механические примеси, в криволинейном канале с анализом эффективности процесса разделения фаз цилиндрического концентратора, при различных его геометрических характеристиках.

## 2. Методы решения

Разработанная математическая модель с соответствующими краевыми условиями решается численно, с использованием электронно-вычислительной машины. Результатом численного решения является таблица чисел.

Для решения дифференциального уравнения в частных производных наиболее распространен метод конечных разностей (МКР) [45]. Суть МКР заключается в том, что вместо производных в дифференциальном уравнении используются их конечноразностные аппроксимации.

Решая уравнения МКР, данная модель представляется в виде совокупности узлов. В каждом узле данной сетки определяется температура, полученной системы уравнений, путем замены производных дифференциального уравнения конечными разностями.

Метод прогонки, сводится к вычислениям по трем формулам: нахождение, так называемых, прогоночных коэффициентов  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ , после замены производных дифференциального уравнения конечными разностями и затем получение неизвестных температур на каждом шаге времени.

Для эффективного применения метода прогонки необходимо исключить в процессе вычислений возникновение ситуаций с делением на нуль, а также при больших размерностях систем не должно быть быстрого роста погрешностей округлений.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ФМ51	Наумкин Александр Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>теоретической и промышленной теплотехники</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление</b>	03.04.02 Физика

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов, амортизационные отчисления, заработная плата научного руководителя.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Экспертная оценка сравнения ресурсоэффективности и оценки языков программирования</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление бюджета НИР</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

- 1. Календарный план*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ФМ51	Наумкин Александр Сергеевич		

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов является оценка коммерческой ценности разработки.

Таким образом, целью работы является проектирование и создание конкурентоспособной разработки, технологии, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- 1) оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- 2) определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- 3) планирование научно-исследовательской работы;
- 4) определение ресурсной (ресурсосберегающей), социальной, экономической, финансовой и бюджетной эффективности исследования.

### 5.1 SWOT-анализ

Тема данной работы является оценка концентрирования частиц в закрученном потоке инерционного аппарата.

Внешняя среда:

- 1) спрос, характер спроса

Данное исследование возможно использовать для повышения эффективности технологических процессов:

а) коммерческие организации, заинтересованные в минимизации своих расходов:

- организации, в производственном процессе которых, используется разделение твердой от газовой фазы, для достижения заданных параметров потока

б) государственные структуры:

- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
- Теплогенерирующие предприятия

Также исследование можно использовать в изучении движения частиц разнородных фаз в прямолинейном потоках, разработчики котельного оборудования, разработчики сепараторов газа.

2) конкуренты

Конкурентами является институты Гидромашуглеобогащения, НИИОГАЗ.

3) поставщики

Поставщиками вентиляционного оборудования являются ООО НЭМЗ «ТАЙРА». Программного обеспечения для написания программ и обработки результатов являются корпорации Microsoft и Embarcadero Technologies, а техники является компания Samsung.

4) аудитория влияния

Аудиторией влияния на программное обеспечение и полученную оценку концентрации в циклонном аппарате является администрация Томского Политехнического Университета.

Внутренняя среда:

1) проектный продукт и его характеристики

Продукт представляет собой программное обеспечение, результатами работы которой является распределение концентраций пылевоздушной смеси, в

циклонном аппарате. Также результаты работы представляют собой зависимость эффективности циклона, при изменении геометрических характеристик исследуемого циклона.

2) обеспеченность, потребность в основных средствах

Основными средствами являются:

- ПЭВМ;
- Вентилятор ВЦ-5 35№4;
- Пластиковые трубы:  $\text{dy}50$ ;  $\text{dy}100$ ;
- Трубки  $\text{dy}10$ ;
- Цемент М400;

3) оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует

## 5.2 Экспертная оценка

Для получения качественных результатов концентрирования, выбор производителя вентиляционного оборудования является одним из важнейших шагов. Именно от этого выбора будет зависеть качество конечного продукта, затраты времени на получение данных. Поэтому произведем сравнительный анализ четырех производителей вентиляционного оборудования:

- 1) ООО «ПромЕвромаш»
- 2) Aerotek
- 3) Ebmpast
- 4) ООО НЭМЗ «ТАЙРА»

Формулируется задача: найти наилучшего производителя вентиляционного оборудования, для использования вентилятора в разработанной установке.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

- 1) Ремонтпригодность
- 2) Цена

- 3) Страна производитель
- 4) КПД вентилятора
- 5) Легкость монтажа

Эксперты оценили характеристики товаров по десятибалльной шкале. Далее они оценили важность каждого критерия по 5 бальной шкале ( $b_j$ ). Все данные представлены в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 - Оценка конкурентоспособности первым экспертом

Производитель вентиляционного оборудования	Ремонто-пригодность	Цена	Страна производитель	КПД вентилятора	Легкость монтажа	Сумма
ООО «ПромЕвромаш»	10/2.1	8/1,68	10/1.05	8/2.104	8/2.104	9.038
Aerotek	7/1.47	7/1,47	4/0.42	8/2.104	3/0.789	6.253
Ebmpast	5/1.05	5/1.05	2/0.21	4/1.052	2/0.526	3.888
ООО НЭМЗ «ТАЙРА»	10/2.1	9/1.89	10/1.05	9/2.367	8/2.104	9.511
Важность ( $b_i$ ) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес ( $W_i$ )	0,21	0,21	0,105	0,263	0,263	1

Таблица 10 - Оценка конкурентоспособности вторым экспертом

Производитель вентиляционного оборудования	Ремонто-пригодность	Цена	Страна производитель	КПД вентилятора	Легкость монтажа	Сумма
ООО «ПромЕвромаш»	9/1,89	5/1,05	10/1.05	7/1,841	9/2,367	8.198
Aerotek	8/1,68	5/1,05	7/0,735	7/1,841	4/1,052	6,357
Ebmpast	5/1,05	4/0,84	3/0,315	5/1,315	3/0,789	4,309
ООО НЭМЗ «ТАЙРА»	9/1,89	7/1,47	10/1.05	9/2,367	9/2,367	9,144
Важность ( $b_i$ ) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес ( $W_i$ )	0,21	0,21	0,105	0,263	0,263	1

Для каждого завода изготовителя в столбцах с факторами конкурентоспособности поставлены оценки от 1 до 10, показывающие степень удовлетворения потребностям заказчика.

$b_i$  – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5 (5 – максимальная важность для заказчика).

$W_i$  – весовой коэффициент – в этой строке рассчитан весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов  $b_i/b_{\text{сум}}$ .

Суммарный весовой коэффициент равен единице – значит расчёт произведён верно. Таким образом, весовой коэффициент  $W_i$  показывает долю важности каждого из факторов конкурентоспособности.

Далее необходимо умножить полученные весовые коэффициенты на оценку эксперта (от 1 до 10) и сумма полученных значений даст итоговую оценку эксперта по каждому поставщику. Итоговые экспертные оценки представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Итоговые экспертные оценки

Язык программирования	Первый эксперт	Второй эксперт	Средняя оценка
ООО «ПромЕвромаш»	9.038	8.198	8.618
Aerotek	6.253	6.357	6.305
Ebmpast	3.888	4.309	4.099
ООО НЭМЗ «ТАЙРА»	9.511	9.144	9.328

В итоге, по результатам четырех независимых экспертных оценок, самый худший результат производитель вентиляционного оборудования Ebmpast, а высший средний бал по предоставленным критериям отбора получил ООО НЭМЗ «ТАЙРА».

### 5.3 Календарный план работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12. В таблице 1 представлен календарный план выполнения работ.

Таблица 12 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	$T_{ki}$ кал.дн
Разработка технического задания и выдача его	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер	1
	2	Оформление технического задания	Инженер	1
Подбор и исследование ранние проведенных работ	3	Подбор теоретической информации (литература)	Инженер	6
Теоретические исследования	4	Разработка программного обеспечения: одномерное распределение концентраций пылевоздушной смеси, в закрученном потоке	Инженер	6
	5	Разработка программного обеспечения: двумерное распределение концентраций пылевоздушной смеси, в закрученном потоке	Научный руководитель, инженер	6
	6	Сборка исследуемой установки	Инженер	6
	7	Проведение ряда экспериментальных мероприятий для получения данных	Научный руководитель, инженер	10
	8	Анализ результатов	Научный руководитель, инженер	4

Продолжение таблицы 12

Разработка экономической части	9	SWOT - анализ	Инженер	1
	10	Экспертная оценка	Инженер	1
	11	Календарный план	Инженер	1
	12	Расчет стоимости	Инженер	1
	13	Анализ ресурсоэффективности	Инженер	1
Расчет БЖД	14	Обеспечение пожарной безопасности	Инженер	1
	15	Обеспечение микроклимата рабочего места	Инженер	1
Оформление работы	16	Оформление	Инженер	4
Итого:			Научный руководитель Инженер	5 51

Таблица 13 – Календарный план

№ работ	Продолжительность выполнения работ																																							
	Апрель																														Май									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2								
1	+																																							
2		+																																						
3					+	+	+	+	+	+																														
4											+	+	+	+	+	+																								
5																	+	+	+	+	+	+																		
6																							+	+	+	+	+	+												
7																													+	+	+	+	+	+						
8																																		+	+	+	+			
9						+																																		
10							+																																	
11								+																																
12									+																															
13										+																														
14			+																																					
15				+																																				
16																																					+	+	+	+

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека - научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 5 дней, инженер - 51 день.

#### 5.4 Смета затрат на проект

Затраты на выполнения проекта ( $K_{пр}$ ) складываются из следующих составляющих:

$$K_{пр} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.} + K_{пр} + K_{накл},$$

где  $K_{mat}$  - материальные затраты на выполнение проекта;

$K_{ам}$  - амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$  - затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$  - затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$  - прочие затраты;

$K_{накл}$  - накладные расходы.

##### 5.4.1 Материальные затраты

Материальные затраты  $K_{mat}$  принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

В таблице 14 представлено подробное описание материальных затрат на канцелярские товары при выполнении ВКР.

Таблица 14 - Канцтовары:

Наименование:	Цена
Бумага	350
Ручки	150
Флешка	500
Итого:	1000

### 5.4.2 Амортизация компьютерной техники

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники  $K_{ам}$  :

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}$$

где  $T_{исп.кт}$  - время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$ - календарное время( 365 дней);

$Ц_{кт}$  -цена компьютерной техники;

$T_{сл}$ - срок службы компьютерной техники (5 лет).

Затраты и время работы компьютерной техники сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Стоимость и время работы компьютерного оборудования

Объект	Стоимость, руб.	Время использования, дней.
Компьютер	50000	42
Ноутбук	30000	80
Принтер	8000	8

Тогда амортизация составит:

$$K_{ам.компьютера} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{42}{365} \cdot 50000 \cdot \frac{1}{5} = 1150 \text{ руб};$$

$$K_{ам.ноутбука} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{80}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1315 \text{ руб};$$

$$K_{ам.принтера} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{8}{365} \cdot 8000 \cdot \frac{1}{5} = 35 \text{ руб};$$

$$K_{ам} = K_{ам.компьютера} + K_{ам.ноутбука} + K_{ам.принтера} = 1150 + 1315 + 35 = 2500 \text{ руб}.$$

### 5.4.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата рассчитывается для инженера и научного руководителя:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж} + ЗП_{нр}$$

где  $ЗП_{инж}$  – заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}$ - заработная плата научного руководителя.

Заработная плата за месяц:

$$ЗП_{мес} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где  $ЗП_o$  – месячный оклад, руб;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$k_2$  – районный коэффициент (30%).

Заработная плата инженера (10 разряд):

$$ЗП_{инж} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.},$$

Заработная плата научного руководителя (15 разряд):

$$ЗП_{нр} = ЗП_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.},$$

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$ЗП_{инж.фак.} = \frac{ЗП_{инж}}{21} \cdot n = \frac{24310}{21} \cdot 51 = 59038 \text{ руб.},$$

$$ЗП_{нр.фак.} = \frac{ЗП_{нр}}{21} \cdot n = \frac{37609}{21} \cdot 5 = 8955 \text{ руб.}$$

где  $n$  - фактическое число дней работы в проекте.

В итоге затраты на оплату труда руководителя ВКР и инженера составят:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж.фак.} + ЗП_{нр.фак.} = 59038 + 8955 = 67993 \text{ руб.}$$

#### 5.4.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные отчисления составляют 30% от  $K_{з/пл}$  и равны:

$$K_{с.о.} = K_{з/пл} \cdot 0,3 = 67993 \cdot 0,3 = 20398 \text{ руб.}$$

#### 5.4.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаем в размере 10% от суммы материальных и амортизационных затрат, затрат на заработную плату, а также затрат на социальные отчисления:

$$K_{np} = (K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о}) \cdot 0,1 = (1000 + 2500 + 67993 + 20398) \cdot 0,1 = 9189 \text{ руб.}$$

#### 5.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаем в размере 200% от затрат на заработную плату  $K_{з/пл}$ :

$$K_{накл} = K_{з/пл} \cdot 2 = 67993 \cdot 2 = 135986 \text{ руб.}$$

Составим итоговую смету затрат на выполнения проекта:

Таблица 16 – Смета проекта

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизационные затраты	2500
Затраты на заработную плату	67993
Социальные отчисления	20398
Прочие затраты	9189
Накладные расходы	135986
Итого:	237066

#### 5.5 Смета затрат на материалы для реализации проекта

В таблице 17 представлено подробное описание расходов на материалы, необходимые для реализации проекта:

Таблица 17 - Расходы на материалы

Статьи расходов	Единица измерения	Цена, руб	Объем потребления	Итого, руб.
Канцелярские товары	-	-	-	1000
Заправка картриджа	шт.	500	1	500
Бумага	шт. пачек	250	1	250
Электроэнергия	кВт/ч	4,25	343,1	1458
Цемент М -400	кг.	200	5	1000
Трубка dy10	м.	100	8	800
Вентилятор	шт.	37510	1	37510
Пластиковая труба dy100	м.	300	3	900
Итого:				43418

По окончании анализа финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования: продукт является высокотехнологичной продукцией, востребованной в сфере промышленности, не имея при этом существенных конкурентов.

Также определены возможные альтернативы проведения научного исследования: с помощью сравнительного анализа и экспертных оценок было проведено сравнение различных производителей вентиляционного оборудования (ремонтпригодность, цена, страна производитель, КПД вентилятора, легкость монтажа) и установлено, что наиболее подходящим для рассматриваемого исследования является ООО НЭМЗ «ТАЙРА».

Проведена оценка объема необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека: руководитель и студент. Все мероприятия займут 46 дней и будут проводиться с 1 апреля до 16 мая при запланированной производительности.

Проведено определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, финансовой и экономической эффективности разработки: были определены интегральные показатели для различных вариантов исполнения проекта и, с целью определения наиболее целесообразного варианта, определена сравнительная эффективность проекта. При сравнении данных параметров было установлено, что первое исполнение является более эффективным с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## Список публикаций студента

1. Razva A. S. et al. The Distribution of Particles in the Wall Region of the Cyclone Chamber //MATEC Web of Conferences. Vol. 72: Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy–Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016).—Les Ulis, 2016. – [sn], 2016. – Т. 722016. – С. 1094.
2. Vasilevsky M. et al. Interaction particles from the surface of the curved pipeline //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Т. 92. – С. 01011