

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ И ПОЖАРОВ НА ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

УДК 614.841.4.027.1-047.44:66.013.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Сайков Алексей Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	К.И.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) *, Критерий 5 АИОР [†] (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей в условиях <i>неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с

* Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

[†] Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной</i> инженерной деятельности <i>с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 20.04.01 Техносферная безопасность
 _____ В.А. Перминов
 05.02.2018 г.

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группы	ФИО
1ЕМ61	Сайкову Алексею Алексеевичу

Тема работы:

Современные методы анализа риска аварий и пожаров на опасных химических объектах
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.18 г. № 616/С
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2018 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Объектом исследования является сушилка аэрофонтанная и прочее сопутствующее оборудование, предназначенное для сушки сырья применяемого для изготовления лекарственных средств. Режим работы периодичный, так как функционирование осуществляется по надобности использования оборудования. В качестве сырья используется пара-нитробензойная кислота, которая в дальнейшем учувствует в производстве анестезина и лидокаина.</p>
<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,</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Провести аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; 2) постановка задачи исследования, обсуждение результатов выполненной работы; 3) Проведение анализа опасностей действующего

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	производства ООО «Органика»; 4) Проведение расчетов зон поражения при возникновении ЧС; 5) Проведение расчетов рисков; 6) Предложить защитные мероприятия, представить анализ эффективности предлагаемого решения; 7) Сформировать структурно-методическую схему получения расчётным методом физико-химических свойств «химфармсубстанции» для формирования документов о безопасности и документов технологического регламента производства 8) Заключение по работе.
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Чертежи и схемы производственного цеха; 2) Чертежи и схемы используемого оборудования.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ Данков Артем Георгиевич, к.и.н.
«Социальная ответственность»	Доцент ОКД ИШНКБ ТПУ Амелькович Юлия Александровна, к.т.н.
Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке	Старший преподаватель ОИЯ ШБИП ТПУ Демьяненко Наталия Владимировна

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

1. Теоретическая часть

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	д.т.н.		05.02.2018 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Сайков А. А.		05.02.2018 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования магистратура
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Сбор сведений и проведение анализа для разработки раздела «Теоритическая часть»	20
26.03.2018 г.	Разработка раздела «Теоритическая часть»	10
09.04.2018 г.	Сбор сведений и разработка раздела «Практическая часть»	25
23.04.2018 г.	Разработка раздела магистерской диссертации на иностранном языке	15
07.05.2018 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
21.05.2018 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А. И.	д.т.н.		05.02.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Сайков Алексей Алексеевич

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Пара-нитробензойная кислота, установка предназначенная для сушки веществ, в которую входит: аэрфонтанная сушилка, участок пневмотранспорта, циклонный аппарат, рукавный фильтр, нутч-фильтр, аппарат синтеза и перекристаллизации вещества. Применяется в различных областях промышленности, для сушки мелкодисперсных веществ в т.ч. для лекарственного сырья.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>Воздействие на оператора сушильной установки физических факторов, таких как, запылённость воздуха рабочей зоны, повышенного уровня опасности взрыва и пожара, наличие аэрозвеси способной взрываться, аэрогеля способного к горению, вдыхание пылевой смеси.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу 	<p>-Аппарат находится в оборудованном для данного вида работ, отдельно стоящем цеху;</p> <p>-Влияние объекта на атмосферу,</p>

<p>(сбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>гидросферу и литосферу незначительное;</p> <p>-В случае возникновения пожара возможны выбросы в атмосферу продуктов горения и большого количества CO².</p> <p>Воздействуя на литосферу, пожар повлечет изменение физических и химических свойств почвы.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>-Возможны возгорания, а так же взрыва вследствие накопления статического электричества в отделе рукавного фильтра.</p> <p>Наиболее типичным ЧС будет взрыв.</p> <p>Превентивными мероприятиями являются установка датчиков пожарного оповещения, датчика контроля концентрации вещества в воздухе рабочей зоны.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ Р 12.3.047-98 "Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля".</p> <p>ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация.</p> <p>Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.041-83* "Система стандартов безопасности труда.</p> <p>Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования"</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Сайков А. А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Сайков Алексей Алексеевич

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, а также в нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности исследования.

Перечень графического материала:

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	к.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Сайков А. А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 140 с., 8 рис., 27 табл., 48 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Анализ рисков, современные методы, аэровзвесь, взрыв, пожар, пылевые отложения, пара-нитробензойная кислота, фармацевтическое производство, пылевые взрывы, аэрофонтанная сушильная установка, расчёт критических параметров.

Объектом исследования является фармацевтическое производство, в котором располагается цех с сушильной установкой. Данная установка – аэрофонтанная сушилка, предназначена для сушки пара-нитробензойной кислоты на производстве. Готовый продукт способен образовывать пылевоздушную, взрывоопасную смесь. В случае взрыва это может привести к непоправимым последствиям на предприятии.

Целью работы – является проведение анализа рисков аварий и пожаров в цеху фармацевтического производства.

В процессе исследования проводились расчёты условий теплового взрыва (параметров кинетического уравнения реакции окисления, критической температуры, критического размера, времени индукции), расчёт критических условий для отложения горючих материалов (критической температуры нагретой поверхности оборудования для отложений веществ, критической температуры среды в воздуховоде для отложений материалов, критической температуры нагрева тепловой изоляции технологического оборудования, критического размера отложений вещества на нагретой поверхности оборудования, критической температуры веществ в технологическом оборудовании), составление структурной-методологической схемы расчётов физико-химических данных, расчёт зон поражения в случае взрыва.

В результате исследования выявлены оптимальные параметры для эксплуатации оборудования, составлен список рекомендуемых мероприятий по

повышению безопасности, исследованы и проанализированы риски в случае взрыва пыли на объекте.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСДНР – аварийно-спасательные и другие неотложные работы;

АСР – Аварийно-спасательные работы;

ТС – Технологическая система;

ЧС – Чрезвычайная ситуация;

КИП – контрольно-измерительные приборы.

НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени.

НПБ – нормы пожарной безопасности.

ПУЭ – правила устройства электроустановок.

РД – руководящий документ.

ВВ – взрывчатое вещество.

Кг – килограмм.

Мм – миллиметр.

РЧ – радиочастоты.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. ГОСТ Р 12.3.047-98 "Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля".
2. ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.041-83* "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования"
4. СанПиН 2.2.4-548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
6. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
8. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
10. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
11. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
12. СНиП 2.04.05-91 *. Отопление, вентиляция и кондиционирование
13. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	19
1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ РИСКОВ.....	21
1.1. Методы идентификации риска.....	21
1.1.1. Мозговой штурм.....	21
1.2. Метод качественной оценки риска.....	21
1.3. Анализ рисков.....	22
1.3.1. Низкое воздействие, низкая вероятность.....	23
1.3.2. Высокое воздействие, высокая вероятность.....	23
1.3.3. Низкое воздействие, высокая вероятность.....	23
1.3.4. Высокое воздействие, низкая вероятность.....	23
1.4. Методы количественного анализа рисков.....	24
1.4.1. Деревья событий.....	24
1.5. Снижение рисков.....	24
1.5.1. Планирование смягчения риска.....	24
1.5.2. Реагирование на риски и инструменты смягчения.....	25
1.5.3. Устранение рисков.....	25
1.5.4. Контроль рисков.....	25
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СУШКИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ.....	26
2.1. Механизм сушки.....	28
2.2. Типы сушильных аппаратов.....	31

2.3. Эффективность сушки	33
2.4. Заключительные замечания.....	33
2.5. Технологическая схема процесса производства	34
2.6. Меры безопасности для эксплуатации оборудования	35
3. ПЫЛЕОБРАЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ КАК ФАКТОР РИСКА.....	37
3.1. Определения и параметры	39
3.2. Меры по защите от взрыва пыли	41
3.2.1. Взрывозащита путем предотвращения взрывоопасной атмосферы .	41
3.2.2. Предотвращение взрыва путем исключения источников воспламенения.....	41
3.2.3. Конструктивная защита от взрыва	42
3.2.4. Классификация зон риска для взрыва пыли	43
3.3. Методы защиты от взрыва пыли.....	43
3.4. Характеристики пылевых взрывов	47
3.4.1. Взрывчатые концентрации	47
3.4.2. Зажигание пыли.....	47
3.4.3. Воздействие пылевого взрыва	47
4. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	49
4.1. Расчет критических условий для отложений горючих материалов.....	50
4.1.1. Расчёт кинетических параметров реакции окисления	50
4.1.2. Расчёт критической температуры.....	53
4.1.3. Пример расчета критического размера.....	55
4.1.4. Пример расчета времени индукции.....	57

4.1.5. Расчет критической температуры нагретой поверхности оборудования для отложений веществ	59
4.1.6. Расчет критической температуры нагрева тепловой изоляции технологического трубопровода	61
4.1.7. Расчет критического размера отложений вещества на нагретой поверхности оборудования	64
4.1.8. Расчет критической температуры для отложений веществ в технологическом оборудовании	66
5. СТРУКТУРНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАСЧЁТА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	71
6. РАСЧЁТ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ.....	73
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
7.1. Предпроектный анализ	77
7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	77
7.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	77
7.3. Технология QuaD.....	79
7.3.1. SWOT-анализ.....	80
7.4. Планирование научно-исследовательских работ структура работ в рамках научного исследования.....	82
7.5. Определение трудоемкости выполнения работ	83
7.6. Разработка графика проведения научного исследования	84
7.7. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	87
7.8. Расчет материальных затрат НТИ.....	87

7.9. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	87
7.10. Основная заработная плата исполнителей темы.....	88
7.11. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	89
7.12. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	89
7.13. Накладные расходы.....	90
7.14. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	90
7.15. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	91
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	94
8.1. Производственная безопасность	95
8.1.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	95
8.1.2. Опасность взрыва	96
8.1.3. Защитные меры от взрыва.....	97
8.1.4. Опасность пожара	97
8.1.5. Поражение электрическим током.....	98
8.1.6. Химические факторы	101
8.1.7. Термический ожог.....	102
8.1.9. Воздухообмен	104
8.1.10. Шум	104
8.1.11. Освещение.....	106
8.2. Экологическая безопасность	106

8.2.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	106
8.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	107
8.2.3. Твёрдые бытовые отходы	107
8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
8.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	108
8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	119
Приложение А	120
RISK ANALYSIS	121
Methods of risk identification.....	121
Methods of qualitative risk assessment	124
Methods of quantitative risk analysis	124
Dust risks.....	129
Dust hazard reduction	131
Приложение 1	133

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение выполнения адекватной и своевременной идентификации рисков, является обязанностью руководителя. Чем раньше будут выявлены риски, тем скорее могут быть выполнены планы по смягчению или управлению ими.

Аэрофонтанная сушилка может использоваться в различных отраслях промышленности, где требуется производство свободно текучего порошка. В данном случае это фармацевтическая промышленность. С помощью установки производится сушка пара-нитробензойной кислоты, которая в дальнейшем технологическом процессе участвует в производстве медицинских препаратов.

Целью работы является проведение анализа рисков аварий и пожаров в цеху фармацевтического производства.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- Провести анализ опасностей действующего производства;
- Сформировать структурно-методическую схему получения расчётным методом физико-химических свойств «химфармсубстанции» для формирования документов о безопасности и документов технологического регламента производства;
- Провести расчеты зон поражения при возникновении ЧС;
- Предложить защитные мероприятия, представить анализ эффективности предлагаемого решения.

В процессе исследования проводились расчёты условий теплового взрыва (параметров кинетического уравнения реакции окисления, критической температуры, критического размера, времени индукции), расчёт критических условий для отложения горючих материалов (критической температуры нагретой поверхности оборудования для отложений веществ, критической температуры среды в воздуховоде для отложений материалов, критической температуры нагрева тепловой изоляции технологического оборудования, критического размера отложений вещества на нагретой поверхности

оборудования, критической температуры веществ в технологическом оборудовании), составление структурной-методологической схемы расчётов физико-химических данных, расчёт зон поражения в случае взрыва.

В результате исследования выявлены оптимальные параметры для эксплуатации оборудования, составлен список рекомендуемых мероприятий по повышению безопасности, исследованы и проанализированы риски в случае взрыва пыли на объекте.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Производительность аппарата 100 кг/час, данное количество поступает на стадию сушки. Влажность субстанции 15 – 20 %. Температура на которой проводится сушка 80 °С, при этом перед началом работ аппарат прогревается и температура достигает 120 °С. Объемный расход теплоносителя 2500 м³/час. Теплоноситель – воздух, нагрев производится с помощью калорифера. После стадии перекристаллизации остается влага – вода со следами ЛВЖ, и субстанция требует сушки. Время сушки 1 час.

Участок пневмотранспорта протяженностью 30 м, диаметр трубы 200 мм. Величина осевшего слоя вещества на стенках оборудования может достигать толщины до 0,8-1 мм.

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ РИСКОВ

Обеспечение выполнения адекватной и своевременной идентификации рисков, является обязанностью руководителя, поскольку он является главным участником проекта. Чем раньше будут выявлены риски, тем скорее могут быть сделаны планы по смягчению или управлению ими[21].

1.1. Методы идентификации риска

Для идентификации риска существует множество методов. Можно полагаться на архив данных по событиям прошлых лет, однако эта информация часто лежат в «головах людей», и доступ к ней может обеспечить проведение мозговых штурмов. В дополнение к техническим знаниям и опыту, личные контакты и динамика групп являются ключом к успешной идентификации риска[21].

1.1.1. Мозговой штурм

- Необходимо активное участие в процессе всей экспертной группы;
- Потенциальные риски должны быть определены всеми членами экспертной группы;
- Никакая критика каких-либо предложений не допускается;
- Любой потенциальный риск, идентифицированный кем-либо, должен регистрироваться;
- Все потенциальные риски, выявленные путем мозгового штурма, должны быть задокументированы.

Цель идентификации рисков - выявить все возможные риски. Устранение рисков или разработка решений для снижения рисков выполняются на этапах оценки риска и снижения риска[21].

1.2. Метод качественной оценки риска

Метод качественной оценки риска позволяет выявить и идентифицировать возможные виды рисков, определить и описать причины и факторы, влияющие на уровень данного вида риска. Кроме того, необходимо

описать и дать стоимостную оценку всех возможных последствий гипотетической реализации выявленных рисков и предложить мероприятия по минимизации и/или компенсации этих последствий, рассчитав стоимостную оценку этих мероприятий[21].

Основными результатами качественного анализа рисков являются выявление конкретных рисков и порождающих их причин, анализ и стоимостной эквивалент гипотетических последствий возможной реализации отмеченных рисков, предложение мероприятий по минимизации ущерба и их стоимостная оценка. К дополнительным, но также весьма значимым результатам качественного анализа следует отнести определение пограничных значений возможного изменения всех факторов (переменных) проекта, проверяемых на риск.

Качественная оценка рисков подразумевает: выявление рисков, присущих реализации предполагаемого решения; определение количественной структуры рисков; выявление наиболее рискоопасных областей в разработанном алгоритме принимаемого решения.

Для осуществления данной процедуры предлагается использовать таблицу качественного анализа. В данной таблице по вертикали составляется алгоритм действий при принятии решения, а по горизонтали - фиксированные ранее риски. После составления данной таблицы производится качественный анализ рисков, присущих реализации данного решения.

1.3. Анализ рисков

После этапа первоначальной идентификации рисков следует составить список рисков, которые были идентифицированы как потенциально влияющие на проект. Из этого списка стоит выявить те, которые кажутся незначительными, и не требуют дополнительного внимания, а так же те риски, которые требуют последующего наблюдения, качественного анализа, количественного анализа и активного смягчения последствий и управления[21].

Обычно используемый инструмент риска, показанный в таблице 1, представляет собой матрицу, которая позволяет назначать риск одному из

четырёх квадрантов на основе качественной оценки его относительного воздействия (высокого или низкого) и вероятности его возникновения (высокий или высокий низкий). Риски в правом верхнем квадранте требуют наибольшего внимания[21].

Таблица 1. Скрининг риска на основе воздействия и вероятности

Вероятность возникновения	Высокая		
	Низкая		
		Низкая	Высокая
		Сравнительное воздействие	

1.3.1. Низкое воздействие, низкая вероятность

Риски, которые характеризуются низким воздействием и низкой вероятностью возникновения, по существу незначительны и обычно могут быть исключены из активного рассмотрения. Главная задача следить за этими факторами достаточно, чтобы определить, что их влияние или вероятность не увеличиваются.

1.3.2. Высокое воздействие, высокая вероятность

Риски, характеризующиеся высоким воздействием и высокой вероятностью возникновения, часто приводят к приостановке деятельности проекта или к его уничтожению, если продолжить деятельность игнорируя их. В этой ситуации следует определить, должен ли проект быть остановлен, или проект является настолько критически важным, что большие потенциальные выгоды оправдывают принятие рисков[21].

1.3.3. Низкое воздействие, высокая вероятность

Данный тип рисков может быть индивидуально незначителен, но в совокупности эти риски могут создать один значительный риск[21].

1.3.4. Высокое воздействие, низкая вероятность

По определению, высокоэффективные события с низкой вероятностью являются редко встречающимися случаями, и поэтому очень сложно назначать вероятности для них на основе исторических записей. Данные не существуют и поэтому необходимы субъективные оценки вероятностей. Однако целью является не научное определение точных вероятностей редких событий, а

определение того, какие меры управления следует предпринять для мониторинга, смягчения и управления рисками[21].

1.4. Методы количественного анализа рисков

Методы количественного анализа рисков – предполагают численное определение величин отдельных рисков и риска проекта в целом. Количественный анализ базируется на теории вероятностей, математической статистике, теории исследований операций[21].

1.4.1. Деревья событий

Деревья событий, также известные как деревья отказов или деревья вероятностей, обычно используются в исследованиях надежности, вероятностных оценках риска, а также для анализа отказов и воздействий.

Результаты оценок - это вероятности различных исходов от данных неисправностей или сбоев. Каждое дерево событий показывает конкретное событие в верхней части и условия, вызывающие это событие, что приводит к определению вероятности этих событий[21].

1.5. Снижение рисков

Конечной целью идентификации и анализа рисков является подготовка к смягчению рисков. Смягчение последствий включает в себя снижение вероятности возникновения события риска и / или уменьшения влияния события риска, если оно произойдет[21].

1.5.1. Планирование смягчения риска

Планирование управления рисками должно осуществляться регулярно, это следует продолжать и после качественной оценки риска.

Управление рисками включает в себя предварительное планирование того, как основные риски будут смягчены и управление после их идентификации.

Планы смягчения рисков должны:

- Охарактеризовать основные причины рисков, которые были определены на более ранних этапах процесса управления рисками;

- Оценивать риски взаимодействия;
- Определите альтернативные стратегии, методы и инструменты смягчения для каждого из основных рисков;
- Оценить и определить приоритеты альтернатив смягчения;

1.5.2. Реагирование на риски и инструменты смягчения

Некоторые риски, которые были идентифицированы, могут быть легко устранены или уменьшены. Тем не менее, большинство рисков сложно снизить, особенно риски с высокой степенью воздействия и низкой вероятностью. Таким образом, управление рисками должно быть долгосрочным на протяжении всего проекта.

1.5.3. Устранение рисков

Устранение рисков - это устранение или предотвращение какого-либо риска или группы рисков. Стоит проектировать объект таким образом, чтобы рассматриваемый риск исчезал или уменьшался до приемлемого значения.

Характер решения может быть инженерным, техническим, финансовым, политическим или каким-либо другим. Однако следует позаботиться о том, чтобы избавление от одного известного риска не привело к возникновению новых рисков.

1.5.4. Контроль рисков

Управление рисками подразумевает принятие мер по уменьшению, смягчению или иным способом управлению его воздействием или вероятностью. Контроль рисков может осуществляться в форме установки систем сбора данных или раннего предупреждения, которые предоставляют информацию для более точной оценки воздействия, вероятности или сроков риска. Если предупреждение о риске можно получить достаточно рано, чтобы принять меры против него, то сбор информации может быть предпочтительнее более осязаемых и, возможно, более дорогих способов.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СУШКИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Сушка кристаллических биологически-активных фармацевтических ингредиентов является важной операцией в производстве стабильных сыпучих материалов, включающая в себя стадии приготовления, упаковки, хранения и транспортировки. Как правило, высушиваемые материалы представляют собой твердые вещества, которые были выделены посредством фильтрации после кристаллизации из воды или из одного, или нескольких органических растворителей. Как и в большинстве операций, сушку лучше всего рассматривать как часть интегрированного процесса, который включает в себя эти стадии кристаллизации и изоляции. Изменения в этих операциях могут влиять на распределение частиц по размерам, кристаллическую форму и содержание влаги, и они могут оказать значительное влияние на эффективность сушки[21].

Аэрофонтанные-сушилki используются для сухих продуктов, включая биотехнологические продукты, мелкие и тяжелые химикаты, агрохимикаты, минеральные концентраты, молочные продукты и фармацевтические препараты, а также могут достигать до производительности 50 тонн/час. Жидкие исходные материалы, такие как суспензии, растворы и эмульсии, превращаются в одну стадию в гранулы, порошки[21].

Спрей контактирует с горячим газом в специально разработанной сушильной камере. Горячий газ может быть инертным газом в случае взрывоопасных атмосфер.

Аэрофонтанная сушилка может использоваться в различных отраслях промышленности, где требуется производство свободно текучего порошка. Этот метод обезвоживания стал наиболее успешным в следующих областях:

- Фармацевтические препараты;
- Костные и зубные амальгамы;
- Напитки;
- Ароматизаторы, красители и растительные экстракты;

- Молоко и яичные продукты;
- Пластмассы, полимеры и смолы;
- Мыло и моющие средства;
- Текстиль и многое другое;

Практически все другие способы сушки, в том числе использование печей, сушилок для замораживания или ротационных испарителей, создают массу материала, требующего дальнейшей обработки (например, измельчения и фильтрации), что приводит к образованию частиц неправильного размера и формы. Аэрофонтанная сушилка, с другой стороны, обеспечивает очень гибкое управление свойствами порошковых частиц, такими как плотность, размер, характеристики потока и содержание влаги[21].

Аэрофонтанная сушка состоит из следующих фаз:

- Подготовка субстанции: Это может быть однородной, пригодной для перекачки субстанцией без примесей.
- Распыление (преобразование подачи в капельки): самый важный шаг в этом процессе. Степень распыления контролирует скорость сушки и, следовательно, размер сушилки.
- Сушка: фаза постоянной скорости гарантирует, что влага быстро испарится с поверхности частицы. За этим следует период падения, когда сушка контролируется диффузией воды на поверхность частицы.
- Разделение порошка и влажного газа: должно проводиться экономичным (например, рециркуляцией сушильной среды) и без загрязняющих веществ. Мелкие частицы обычно удаляются с помощью циклонов, рукавных фильтров, осадителей или скрубберов.
- Охлаждение и упаковка.

Регулирование и контроль уровня влажности в твердых материалах путем сушки является критическим процессом в производстве многих видов химических продуктов. В качестве единичной операции сушка твердых материалов является одной из наиболее распространенных и важных в химической промышленности, поскольку она используется практически на всех

предприятиях, которые производят или обрабатывают твердые материалы в виде порошков и гранул[21].

Эффективность процессов сушки может оказать значительное влияние на качество продукции. Например, в фармацевтической промышленности, где сушка обычно происходит в виде периодического процесса, сушка является ключевым этапом производства. Процесс сушки может влиять на последующие этапы производства, включая таблетирование или инкапсуляцию, и может влиять на характеристики критического качества конечной лекарственной формы.

Помимо очевидного требования к сушке твердых веществ, сушка также может быть проведена для улучшения управляющих характеристик, например, при наполнении насыпного порошка и других операций, связанных с потоком порошка; и для стабилизации влагочувствительных материалов, таких как фармацевтические препараты.

2.1. Механизм сушки

Сушку можно определить как испарение и удаление воды или других жидкостей из раствора, суспензии или другой твердой жидкой смеси с образованием сухого твердого вещества. Это сложный процесс, который предполагает одновременный перенос тепла и массы, сопровождающийся физико-химическими превращениями. Сушка происходит в результате испарения жидкости путем подачи тепла на влажное сырье, гранулы и так далее. На основе используемого механизма теплопередачи сушка подразделяется на прямую (конвекционную), косвенную или контактную (проводящую), лучистую (радиационную) и диэлектрическую или микроволновую (радиочастотную) сушку.

Передачи тепла и массоперенос являются критическими аспектами процессов сушки. Тепло переносится в продукт для испарения жидкости, а масса передается в виде пара в окружающий газ. Скорость сушки определяется набором факторов, влияющих на передачу тепла и массы. Сушка твердых веществ, как правило, понимается как две различные зоны сушки, известные

как период постоянной скорости и период падения. Две зоны демаркируются точкой разрыва, называемой критической влажностью[22].

В типичном графике содержания влаги в зависимости от скорости сушки и влажности в зависимости от времени (рис. 1), раздел АВ представляет собой период постоянной скорости. В этой зоне считается, что влажность испаряется с насыщенной поверхности со скоростью, определяемой диффузией с поверхности через неподвижную воздушную пленку, которая находится в контакте с ней. Этот период зависит от температуры воздуха, влажности и скорости влаги на поверхности, что, в свою очередь, определяет температуру насыщенной поверхности. В течение периода постоянной скорости жидкость должна транспортироваться на поверхность со скоростью, достаточной для поддержания насыщения.

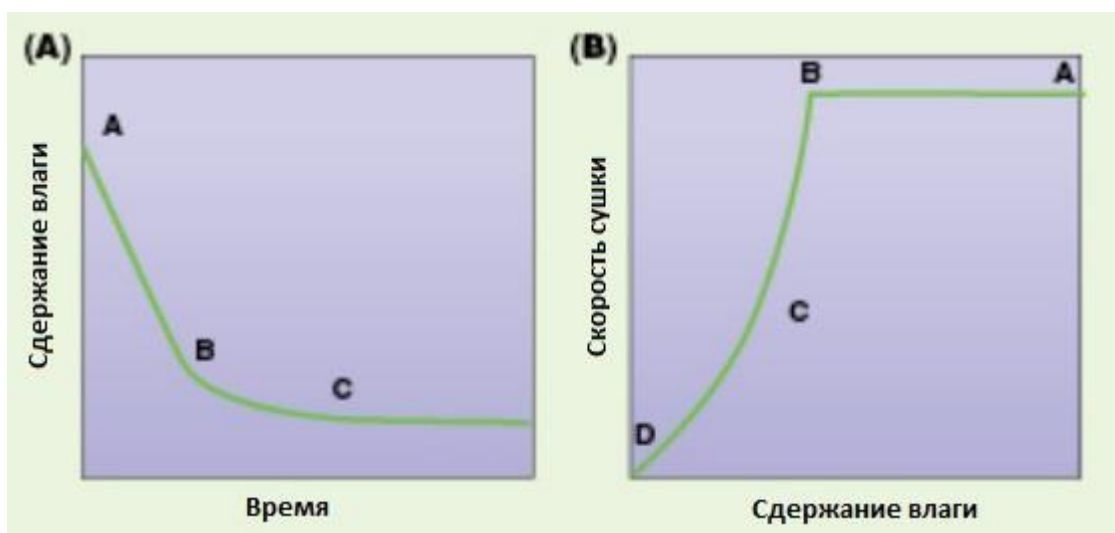


Рисунок 1. Сегмент АВ графика представляет собой период сушки с постоянной скоростью, а сегмент ВС - период падения

В конце периода постоянной скорости (точка В, рис. 1) происходит разрыв кривой сушки. Эта точка называется критическим содержанием влаги, и линейное падение скорости сушки происходит при дальнейшей сушке. Этот отрезок, сегмент ВС, называется первым периодом падения. По мере того как сушка протекает, влажность достигает поверхности с уменьшающейся скоростью, и механизм, который контролирует ее передачу, будет влиять на скорость сушки. Так как поверхность больше не насыщена, она будет повышаться выше температуры влажной лампы. Этот раздел, представленный

сегментом CD на рисунке 1, называется вторым периодом падения, и он контролируется диффузией паров. Движение жидкости может происходить за счет диффузии при градиенте концентрации, создаваемом истощением воды на поверхности. Градиент может быть вызван испарением или в результате капиллярных сил или циклом испарения и конденсации или осмотическим эффектом[22].

Емкость потока воздуха (газа) для поглощения и уноса влаги определяет скорость сушки и устанавливает продолжительность цикла сушки. Двумя элементами, необходимыми для этого процесса, являются температура воздуха на входе и расход воздуха. Чем выше температура воздуха для сушки, тем выше его удерживающая способность[22].

Существует несколько подходов к определению конца процесса сушки. Наиболее распространенным является построение кривой сушки путем отбора проб на разных этапах цикла сушки в течение времени сушки и установления кривой сушки. Когда высыхание будет завершено, температура продукта начнет увеличиваться, указывая на завершение сушки при определенном желаемом содержании продукта.

Для измерения содержания влаги в зерне используются древесина, продукты питания, текстиль, целлюлоза, бумага, химикаты, раствор, почва, кофе, джут, табак, рис и бетон, счетчики электрического сопротивления. Этот тип прибора работает по принципу электрического сопротивления, которое изменяется в зависимости от влажности измеряемого элемента. Также используются диэлектрические влагомеры. Они полагаются на поверхностный контакт с плоским пластинчатым электродом, который не проникает в продукт.

Для измерения влажности в бумажных рулонах или стопках бумаги расширенные методы включают использование метода радиочастотной емкости. Этот тип прибора измеряет потерю или изменение в РЧ диэлектрической постоянной, на которую влияет наличие или отсутствие влаги.

2.2. Типы сушильных аппаратов

Адиабатические сушилки - это тип, в котором твердые вещества высушиваются прямым контактом с газами, обычно воздухом. С помощью этих сушилок влажность находится на поверхности твердого тела[2].

Не адиабатические сушилки включают ситуации, когда сушилка не использует нагретый воздух или другие газы для обеспечения энергии, необходимой для процесса сушки[2].

Классификация сушки также может быть основана на механизмах теплообмена следующим образом:

- Прямая (конвекция)
- Косвенные или контактные (проводимости)
- Сияющий (радиационный)
- Диэлектрическая или микроволновая (радиочастотная) сушка

Прямые или адиабатические используют чувствительную теплоту жидкости, которая контактирует с твердым телом, чтобы обеспечить теплоту испарения жидкости.

С адиабатическими сушилками твердые материалы могут подвергаться воздействию нагретых газов различными способами, в том числе[2]:

- Газы могут надуваться по поверхности (поперечная циркуляция);
- Газы могут врываться через слой твердых тел (сквозной циркуляции) используется, когда твердые тела неподвижны, такие как дерево, кукуруза и другие;
- Твердые частицы могут медленно опускаться через медленно движущийся газовый поток, как во вращающейся сушилке;
- Газы могут врываться через слой твердых веществ, которые оживляют частицы. В этом случае твердые частицы движутся, как в сушилке с псевдооживленным слоем;
- Твердые вещества могут входить в высокоскоростной поток горячего газа и могут транспортироваться пневматически в коллектор.

Более 85% промышленных сушилок имеют конвективный тип, контактные сушилки обеспечивают более высокую термическую эффективность и имеют экономические и экологические преимущества по сравнению с конвекционными сушилками. В таблице 2 сравниваются прямые и непрямые сушилки, а в таблице 3 показана классификация сушилок на основе различных критериев[2].

Таблица 2. Сравнение прямых и косвенных сушилок

Свойство	Прямая / адиабатическая сушилка (конвективный тип)	Непрямая / не адиабатическая контактная сушилка (проводящий тип)
Носитель газ	Использует разумную теплоту газа, которая контактирует с твердым веществом, чтобы обеспечить теплоту испарения жидкости	Для удаления паров, высвобождаемых из твердых частиц, требуется небольшой или нулевой газ-носитель
Теплопередача	Теплоноситель находится в прямом контакте с поверхностью подлежащего сушке материала	Тепло, необходимое для испарения растворителя, переносится через стену
Риск перекрестного загрязнения	Сохраняется	отсутствует, поскольку теплоноситель не контактирует с продуктом
Восстановление растворителя	Трудно, поскольку имеется большой объем газа, подлежащего охлаждению, для извлечения растворителя	Легче из-за ограниченного количества неконденсируемого газа
Работа под вакуумом	Невозможно	Позволяет работать под вакуумом, идеально подходит для теплочувствительных материалов
Вытирание пыли	Высокая	Минимизировано из-за небольшого количества паров
Взрывоопасность	Высокая вероятность	Легче контролировать, так как пары легко конденсируются
Обработка токсичных материалов	Не подходит	Подходит из-за низкого потока газа
Энергоэффективность	Значительная потеря энергии за счет выхлопных газов	Более высокая энергетическая эффективность, так как энергия, потерянная через выхлопной газ, значительно снижается
Скорость испарения и производительность	Выше, чем контактные сушилки	Скорость сушки ограничена площадью теплопередачи, более низкой производительностью
Стоимость	Высокая	Более высокая начальная стоимость; сложно спроектировать, изготовить и поддерживать

Таблица 3. Классификация сушильных машин

Критерий	Типы
Режим работы	Непрерывный
Тип тепловой подачи	Конвекция*, проводимость, излучение, электромагнитные поля, комбинация режимов теплопередачи Прерывистая или непрерывная*, Адиабатическая или неадиабатическая
Состояние материала в сушилке	Стационарное перемещение взволнованное, рассеянное
Рабочее давление	Вакуум * Атмосферный
Сушка (конвекция)	Воздух*, Перегретый пар, Дымовые газы
Температура сушки ниже температуры кипения *	Температура выше температуры кипения ниже точки замерзания
Относительное движение между сушильной средой и твердыми частицами	Сопутствующий ток Противоточный смешанный поток
Количество этапов	Одиночный*, Многоступенчатый
Время пребывания	60 минут

* - Наиболее распространенные на практике

2.3. Эффективность сушки

С растущей озабоченностью по поводу ухудшения состояния окружающей среды желательно снизить потребление энергии во всех секторах. Существуют данные, что процессы сушки составляют от 12 до 20% потребления энергии в промышленном секторе. Процессы сушки являются одной из наиболее энергоемких операций[22].

Одним из показателей эффективности является отношение минимального количества тепла, которое удалит требуемую воду к энергии, фактически предусмотренной для процесса. Разумное тепло также может быть добавлено к минимуму, так как это добавленное тепло в материале часто не может быть экономически восстановлено. Были разработаны другие более новые технологии, такие как сухая сушка, перегретый пар, сушка при помощи теплового насоса и другие[22].

2.4. Заключительные замечания

Сушка - это важная операция, используемая в различных отраслях промышленности. Механизм сушки хорошо понимается как двухстадийный процесс и зависит от сушильной среды и содержания влаги в продукте[22].

Процессы сушки являются обычными в химической и фармацевтической промышленности, в то время как непрерывные сушилки обычно используются там, где требуется большой объем производства. Поскольку стоимость сушки является значительной частью затрат на производство продукта, важно повысить эффективность или найти альтернативные пути сушки[22].

2.5. Технологическая схема процесса производства

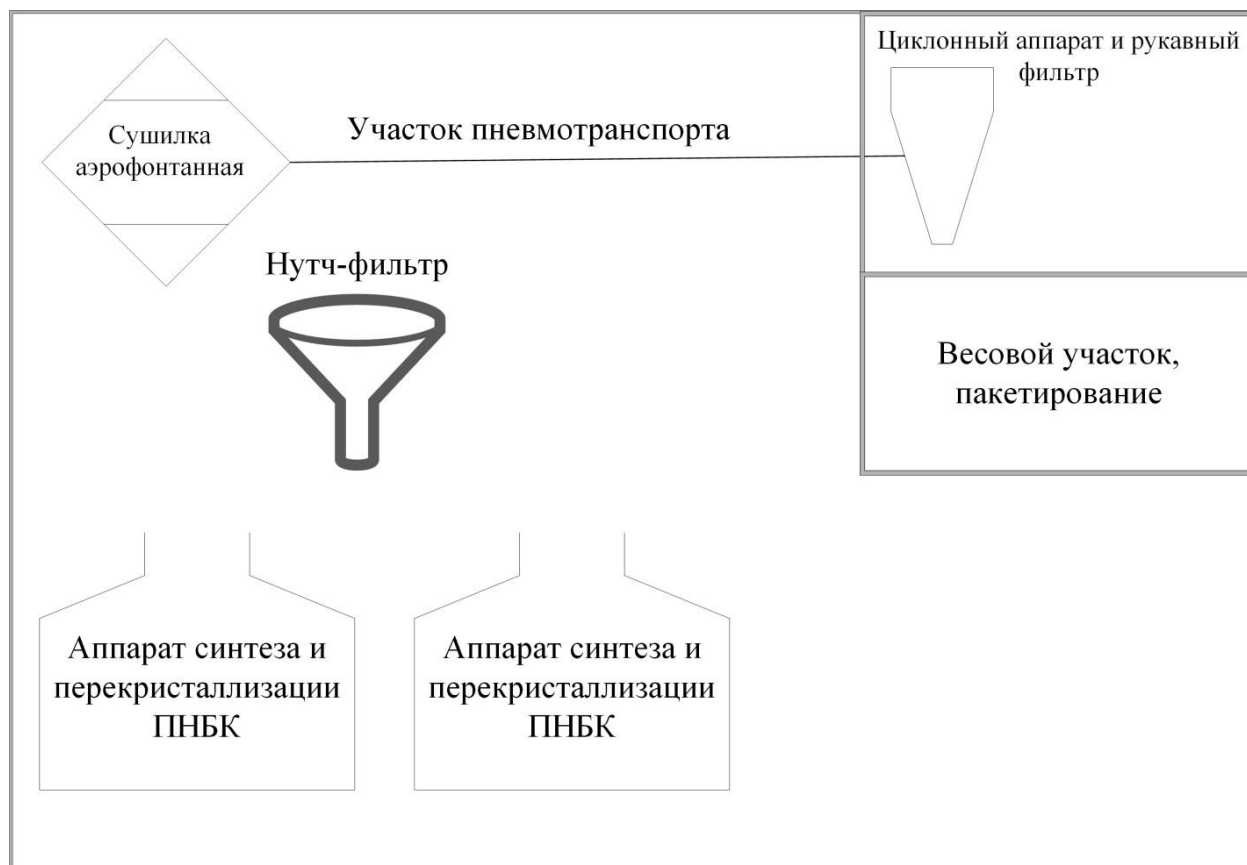


Рисунок 2. Схема производственного цеха, в котором происходит сушка веществ

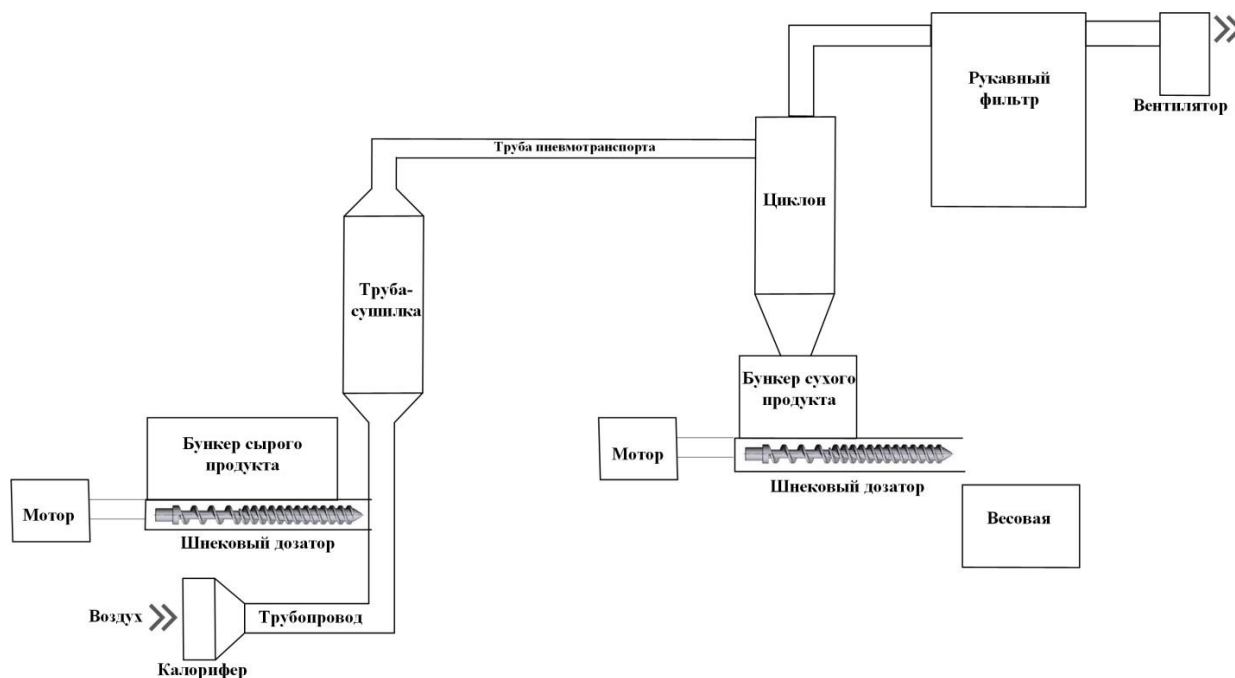


Рисунок 3. Схема устройства аэрофонтанной сушилки

2.6. Меры безопасности для эксплуатации оборудования

Специфические требования пожарной безопасности при эксплуатации сушилок конвекционного типа:

- при загрузке и эксплуатации сушилки не допускается превышать установленную предельно допустимую норму загрузки и предельно допустимую температуру сушки;
- в процессе сушки веществ и материалов необходимо осуществлять контроль концентрации паров в объеме сушильных камер газоанализаторами;
- загрузку тележек горючими материалами в сушилках необходимо производить вне камеры;
- при сушке волокнистых материалов не допускается наматывания волокон на валы питателей, транспортеров и вентиляторов и необходимо соблюдать минимальные зазоры между цапфами валов и подшипниками;
- при сушке измельченных материалов в виде крошки, волокнистой массы и других материалов, склонных к самовозгоранию, необходимо поддерживать установленную оптимальную толщину слоя;
- для предотвращения возможности попадания горючих паров и пыли в помещение, необходимо контролировать герметичность системы;

- для очистки отработанного воздуха от пыли необходимо устанавливать фильтры, циклоны и другие устройства, не допускать отложения пыли в воздуховодах, на стенках камер, в калориферах и др.;

- необходимо предусматривать автоматическую блокировку для отключения нагревательных устройств, при уменьшении скорости движения или остановке транспортных устройств;

- для исключения разрядов статического электричества металлические элементы сушилок должны быть заземлены;

- сушильные установки должны быть оборудованы обособленными системами вентиляции;

- для защиты сушильных камер от избыточного давления необходимо устанавливать предохранительные клапаны.

3. ПЫЛЕОБРАЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ КАК ФАКТОР РИСКА

Классификация взрывоопасных зон применяется в целях выбора оборудования по его уровню взрывозащиты, обеспечивающему безопасную эксплуатацию такого оборудования в соответствующей зоне[28].

В зависимости от частоты и длительности присутствия взрывоопасной газовой смеси или горючей пыли в виде облака или слоя взрывоопасные зоны подразделяются на следующие классы[28]:

- для взрывоопасных пылевых сред - классы 20, 21 и 22.

Как и в случае с горючими жидкостями и воспламеняющимися газоздушными смесями, для образования взрыва должны быть выполнены определенные требования для подходящего источника воспламенения смеси пыли и воздуха. Взрыв не может произойти, если отсутствует одно из следующих факторов: горючая пыль, воздух, источник воспламенения[28].

Взрывы пыли и взрывы газа имеют разные характеристики, и в некоторых случаях взрывы пыли могут быть более разрушительными. Если воспламеняется газоздушная смесь, сила возникающего взрыва приводит к быстрому рассеянию газового облака и таким образом, разбавляет газоздушную смесь до концентрации ниже необходимой для дальнейшего сгорания. Из этого следует, что при недостатке газа, взрыв заканчивается через непродолжительное время[28].

В случае с горючей пылью ситуация развивается иначе. Если, например, сквозняк поднимает слой пыли в небольшой области, пыль вместе с кислородом образует горючую пылевоздушную смесь. Если эта смесь воспламеняется, происходит взрыв. Сила полученного взрыва закручивает больше пыли, которая, в свою очередь, воспламеняется. Этот процесс продолжается, и в некоторых случаях такие цепные реакции, охватывают целые здания и сооружения, уничтожая их[28].

Как и в случае с газами, существуют различные источники воспламенения для пыли, такие как искры из электрических или

механических процессов, дуги, открытое пламя, электростатический разряд, электромагнитные волны и другие[28].

На рисунке 4 показаны результаты статистических исследований в Северной Америке, в которых изучалось распределение источников воспламенения пылевых взрывов. Это показывает, что механически произведенные искры отвечали почти в одной трети случаев. Добавьте к этому 13% взрывов, вызванных открытым огнем и сваркой, и становится очевидным, что многие люди не знают об опасности взрыва пыли. Рисунок 5 показывает, что затронуты самые разные отрасли промышленности, включая отрасли пищевой и деревообрабатывающей промышленности, производство бумаги и синтетики, производство фармацевтических препаратов и другие[28].

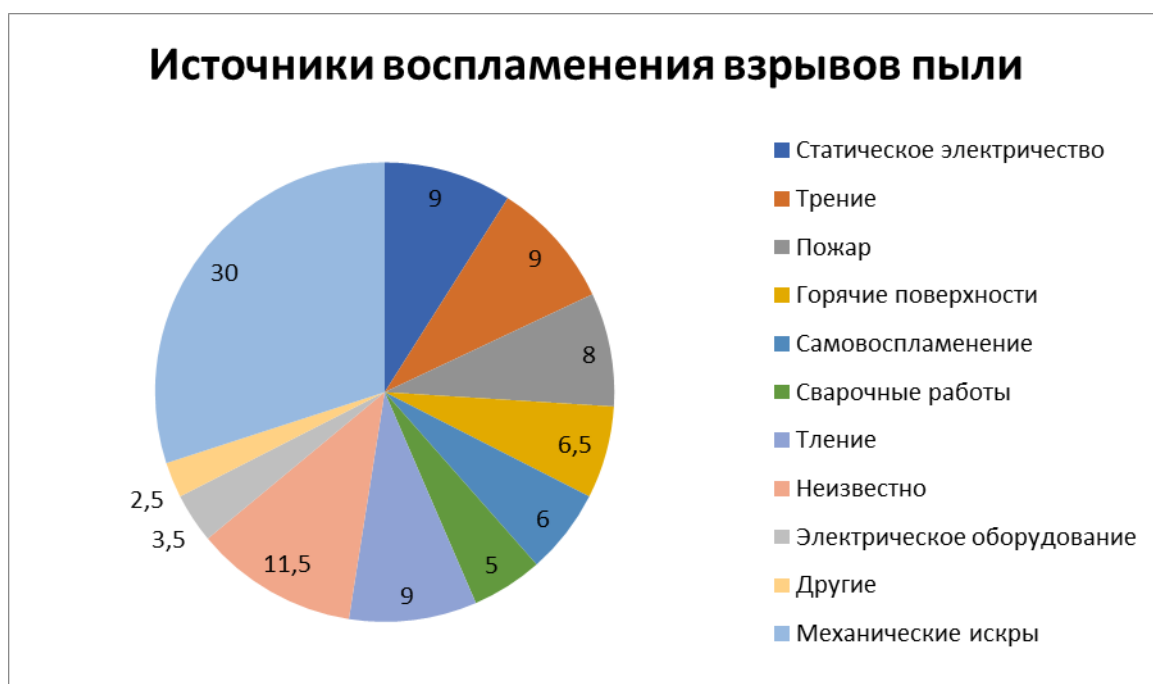


Рисунок 4. Источники воспламенения взрывов пыли.



Рисуно 5. Типы пыли, участвующих в пылевых взрывах

3.1. Определения и параметры

В таблице 4 перечислены важные параметры, определяющие горючесть пыли. Необходимо оценить ваши технические процедуры с учетом потенциальных источников воспламенения, горючего объема, рабочей температуры и т. Д. Впоследствии необходимо оценить вероятность взрыва пыли в текущих условиях[28].

Таблица 4. Определения

Термин	Определение	Замечание
Взрывоопасная пылевая атмосфера	Смесь горючих веществ в виде пыли или волокон, смешанных с воздухом в атмосферных условиях, которые после воспламенения приводят к распространению реакции на несгоревшую смесь.	Условие заключается в том, что процесс заканчивается только после полного потребления одного реагента.
Атмосферные условия	Давление смешивания между 0,8 и 1,1 бар Температура смешивания от -20 ° С до + 60 ° С	
Взрывоопасная атмосфера	Наличие взрывоопасной атмосферы следует принимать, если зажигание вызывает экзотермическую реакцию, которая угрожает людям, домашним животным и имуществу.	Пылевый слой размером менее 1 мм на полу обычного помещения является достаточным для создания взрывоопасной атмосферы.

Таблица 5. Технические параметры безопасности пыли

Параметр	Определение / Описание	Замечание
Размер частицы	Частицы пыли размером более 400 мкм не горючие. Частицы пыли являются горючими, когда размер менее 400 мкм и до 20 мкм	Транспортировка и обработка крупнозернистой пыли часто вызывают абразивную пыль, что приводит к более тонкой пыли.
Концентрация горючей пыли	Как и в случае газов, пыль горючая в определенных концентрационных параметрах: <ul style="list-style-type: none"> • более низкий предел горения: приблизительно 20-60 г/м³ воздуха. • верхний предел горения: приблизительно 2-6 кг / м³ воздуха. 	Эти параметры сильно различаются по всему спектру. Высокоспламеняющаяся пыль может образовывать легковоспламеняющуюся смесь с концентрацией менее 15 г / м ³
Максимальное взрывное давление	В простых закрытых контейнерах воспламеняющаяся пыль может вызвать взрывное давление между 6 и 10 бар.	В исключительных случаях, например, с легкой металлической пылью, возможно взрывное давление до 20 бар.
Влажность	Влажность пыли является важным фактором для потенциальных воспламенений и взрывов. Хотя никаких точных параметров не существует, известно, что это требует более высокой энергии зажигания и, менее вероятно, будет закручена.	
Минимальная энергия зажигания	Минимальная энергия электрической искры, которая при определенных условиях способна воспламенить взрывоопасную пыле-воздушную смесь.	Не каждая искра способна вызвать воспламенение. Решающим фактором является то, вводится ли достаточная энергия в смесь пыли / воздуха, чтобы вызвать независимое сгорание всей смеси.
Температура возгорания	Самая низкая температура нагретой стены, которая воспламеняет пыле-воздушную смесь при кратковременном контакте.	В случае пара-нитробензойной кислоты температура составит 458 С°.
Температура тления	Самая низкая температура горячей поверхности, на которой воспламеняется пылевидный осадок размером 5 мм.	Температура тления описывает характеристики воспламенения тонких слоев пыли. Если слой толще или если источник воспламенения полностью заглублен в пыль, тепловая изоляция, обеспечиваемая пылевым слоем, увеличивается, что полностью изменяет

		температуру тлеющего слоя, иногда значительно снижая ее, что может вызвать экзотермическую реакцию.
--	--	---

3.2. Меры по защите от взрыва пыли

3.2.1. Взрывозащита путем предотвращения взрывоопасной атмосферы

Сложность процессов, которые могут привести к взрыву пыли, означает, что чрезвычайно сложно оценить фактические риски при работе с горючими пыле-воздушными смесями. Это особенно важно для предотвращения взрыва. Как правило, они ограничиваются предотвращением или ограничением накопления взрывоопасной атмосферы[28].

Одна из возможностей заключается в уменьшении концентрации воспламеняющегося вещества до значений ниже «нижнего предела воспламенения», например, путем смешивания его с негорючими продуктами. Другая возможность - предотвратить распространение горючих веществ или ограничить его. Обе эти меры могут быть эффективно поддержаны путем тщательной и регулярной очистки и осуществления соответствующих строительных мер. Если нельзя избежать создания взрывоопасной смеси, окружающий воздух с содержащимся в нём кислородом можно заменить негорючим газом (инертизация).

3.2.2. Предотвращение взрыва путем исключения источников воспламенения

Эта мера предотвращает воспламенение взрывоопасной атмосферы. Этого можно достичь с помощью:

- Анализа потенциальных источников воспламенения;
- Определения необходимой степени защитных мер;
- Использования подходящего оборудования.

Этот тип защиты включает в себя принятие мер по предотвращению воспламенения, это значит, устранение потенциальных источников воспламенения.

Тип защитных мер, и уровень требуемой безопасности зависят от зоны опасности. Вероятность существования взрывоопасной атмосферы, содержащей воздушную пыль и классификацию зон находящихся под угрозой, является важными факторами, которые необходимо учитывать при принятии решения о необходимых мерах защиты

3.2.3. Конструктивная защита от взрыва

Конструктивная взрывозащита - это метод предотвращения опасных взрывов и / или снижения воздействия взрыва до безопасного уровня.

Взрывобезопасная конструкция ограничивает взрыв во внутренней части герметичных или взрывобезопасных контейнеров, но подключенное оборудование, такое как трубы и механизмы развязки, должны отвечать тем же требованиям. Взрывобезопасные контейнеры или устройства - это те, которые могут выдерживать многократно определённое взрывное давление без деформации[28].

Подавление взрыва - этот процесс обычно используется в контейнерах и производственных объектах, для которых прогнозируется взрывоопасное давление, превышающее взрывоустойчивость контейнера / установки. Взрыв подавляется на начальных этапах, прежде чем может произойти опасное повышение давления. Для этого в защищенной зоне используется огнетушащий агент, который срабатывает в пределах долей секунды[28].

Взрывозащитные барьеры. Изоляция в качестве меры взрывозащиты позволяет взрывам достигать полной силы, но препятствует ее распространению на другие незащищенные участки установки. Это достигается механическими барьерами, которые немедленно блокируют соединительные пути[28].

3.2.4. Классификация зон риска для взрыва пыли

Таблица 6. Определения зон

Зона 20	Область, в которой постоянно или часто присутствует взрывоопасная атмосфера в виде облака легковоспламеняющейся пыли. Примечание: Эти условия обычно можно найти только внутри контейнеров, труб, устройств и т.д.
Зона 21	Область, в которой может появляться взрывоопасная атмосфера в виде облака легковоспламеняющейся пыли, вызванная обычными операциями. Примечание: Также в непосредственной близости от пылеулавливающих или рабочих станций, где пыль выливается в контейнеры, а также в местах, где имеются пылевые отложения, и где может образоваться горючая пылевоздушная смесь в ходе обычных операций.
Зона 22	Область, в которой не может быть предсказана взрывоопасная атмосфера в виде облака воспламеняющейся пыли.

3.3. Методы защиты от взрыва пыли

Если взрыв нельзя предотвратить, то следует свести к минимуму его разрушительные последствия[28].

Хотя вероятность выделения пыли, которая приходит в контакт с источником зажигания, может быть снижена хорошей конструкцией и ремонтным обслуживанием, она не может быть уменьшена до нуля. Следовательно, должны быть предусмотрены меры защиты от взрывов. Имеется четыре распространенных метода борьбы со взрывами пыли, а именно «сдерживание», взрыворазряднение, введение инертного газа и автоматическое взрывоподавление. Рассмотрим кратко каждый из этих методов[28].

Идея «сдерживания», или обеспечение сопротивления конструкции давлению, состоит в том, что оборудование должно быть достаточно прочным, чтобы противостоять максимальному давлению, создаваемому при взрыве, без разрушения или проявляющихся деформации или повреждений. Все воздухопроводы, связанные с оборудованием, должны отличаться прочностью конструкции. Для предотвращения распространения пламени от одного вида оборудования к другому используют быстродействующие пневмоклапаны. Этот метод, по-видимому, является приемлемым только для систем небольших размеров и непрактичен для зданий элеваторов[28].

Взрыворазрядные устройства включают открытое отверстие или встроенную слабую секцию (разрывную предохранительную мембрану), которая в случае взрыва будет разрушаться при очень низком избыточном давлении и обеспечивать выход расширяющихся газов.

Защищаемая система (емкость) должна быть сконструирована так, чтобы она могла противостоять определенному незначительному давлению при взрыве. Эффективный сброс давления при взрыве в длинных воздуховодах и емкостях возможен только в том случае, если подобные устройства устанавливаются по всей их длине, через короткие промежутки. В такой системе взрыв будет создавать сильный осевой поток, из-за чего вся площадь поперечного сечения должна использоваться для сброса давления. Если взрыворазрядители устанавливаются с боковой стороны, то при взрыве должна отбрасываться еще и верхняя крышка. Например, сильный взрыв, начавшийся в нижней части норрии, которая имеет только один взрыворазрядитель сверху, будет создавать давление, достаточное для разрыва норрийной трубы, по мере его перемещения по ней, задолго до того, как взрывная волна достигнет отверстия наверху. Применение системы сброса давления может привести к повышению давления вне оборудования, т. е. в помещении, где это оборудование расположено. Если взрыворазряжение из какого-то оборудования происходит в помещении, в котором скапливается пыль на горизонтальных поверхностях и полу, взрывная волна, создаваемая в результате взрыворазряжения (разрыва предохранительной мембраны), в сочетании с распространением пламени из защищаемого оборудования может привести к вторичному взрыву в здании с большими разрушениями, чем при первом взрыве[28].

Следовательно, если системы взрыворазряжения установлены внутри зданий, то необходимо, чтобы к взрыворазрядному отверстию был подсоединен трубопровод, выходящий вне здания, с тем чтобы защитить персонал и рядом расположенное оборудование от пламени, продуктов сгорания и ударной волны[28].

Размеры взрыворазрядных отверстий для сброса давления определяются объемом установки, максимально допустимым избыточным давлением, максимальной степенью повышения давления в воздуховоде и разрывным давлением предохранительной мембраны. Зная все эти факторы, можно рассчитать размеры отверстия[28].

Рекомендации по конструкции взрыворазрядных устройств:

- взрыворазрядные трубопроводы, выходящие наружу, должны быть усилены и, по крайней мере, одинаковы по прочности с теми элементами конструкции, которые используются для вентилирования оборудования;
- взрыворазрядные трубопроводы должны быть по возможности короче, и их повороты не должны иметь угол более 22° ;
- взрыворазрядные трубопроводы должны быть направлены так, чтобы они не причиняли персоналу повреждений в результате истечения из них продуктов взрыва;
- на концах взрыворазрядных трубопроводов необходимо устанавливать сетки, препятствующие проникновению птиц, и предусматривать защиту от атмосферных осадков;
- матерчатые фильтры необходимо оснащать взрыворазрядителями и устанавливать снаружи здания.

Третий метод включает замену части кислорода воздуха инертным газом (инертизация), в результате чего получается атмосфера, содержащая слишком мало кислорода для поддержания процессов горения (распространения пламени). Необязательно полностью устранять кислород. Обычно пыль органического происхождения уже неспособна образовывать взрывоопасную смесь, если концентрация кислорода в пылевоздушной смеси менее 8%. Максимально допустимое содержание кислорода зависит от характера горючего материала и должно определяться экспериментально в каждом конкретном случае[28].

Инертизация взрывоопасной смеси пыли с воздухом может быть достигнута добавлением одного из следующих инертных газов, или

ингибиторов: азот, диоксид углерода и производные галогенов. Наиболее часто используют азот и диоксид углерода. Некоторые огнетушащие порошки, подобно фосфату аммония, карбонату натрия и калия, имеют значительно более высокое инертизирующее воздействие на горючие смеси пыли и воздуха, чем инертные газы, если они равномерно смешаны с пылью во всем объеме помещения, которое должно быть защищено[28].

Автоматическое подавление взрыва — заключается в быстром подводе инертного агента для тушения фронта пламени после получения сигнала об избыточном давлении от датчика давления. При загорании пылевоздушной смеси пламя первоначально перемещается относительно медленно, и первое повышение давления можно обнаружить быстро, таким образом может быть включена система подачи огнетушащего вещества, это подавляет взрыв до того, как он достигнет своей полной силы и повысит давление до опасного уровня. Обнаружение и подавление осуществляются в течение тысячных долей секунды[28].

Имеются промышленные системы, и они могут быть приемлемыми и эффективными, по крайней мере, для некоторых видов оборудования предприятий.

В качестве средства для подавления взрыва часто используют газы — производные галогенов, хотя, если система с таким газом сработает слишком поздно, т. е. когда взрыв уже в определенной степени распространился, это вещество может увеличить силу взрыва и способствовать повышению давления[28].

Разработаны другие системы подавления взрыва, использующие огнетушащий порошок на основе фосфата аммония, хранящийся в стальных баллонах и под давлением азота. Распределение огнетушащего порошка по всему защищаемому замкнутому объему осуществляется специальными соплами.

Количество такого вещества, т. е. число взрывоподавителей, требующихся для эффективного подавления взрыва в замкнутом объеме, не

находится в пропорциональной зависимости от защищаемого объема, однако оно должно быть рассчитано специалистами.

3.4. Характеристики пылевых взрывов

3.4.1. Взрывчатые концентрации

Хотя смесь легковоспламеняющейся пыли и воздуха может гореть с возможностью опасности взрыва, не все смеси будут делать это. Существует ряд концентраций пыли и воздуха, внутри которых смесь может взорваться, но смеси выше или ниже этого диапазона не могут. Самая низкая концентрация пыли, способная к взрыву, называется нижним концентрационным пределом взрываемости, выше которой взрыв не будет иметь место в качестве верхнего предела взрываемости[26].

Верхние пределы взрываемости не определены четко и имеют низкую воспроизводимость в условиях лабораторных испытаний. Поскольку верхний предел взрываемости практически не имеет практического значения, данные для этого параметра редко доступны.

3.4.2. Зажигание пыли

Хотя смеси пыли и воздуха в пределах огнеопасного диапазона способны к взрыву, они не взрываются, если они не зажигаются каким-либо образом. Как только источник воспламенения будет контактировать с горючей смесью, пламя будет распространяться по всему облаку. Источник зажигания пылевого облака обычно представляет собой горячую поверхность, электрическую искру или механически генерируемую фрикционную искру. Минимальное условие, необходимое для инициирования взрыва пыли при определенных режимах зажигания, можно измерить, а некоторые результаты доступны в различных справочниках[26].

3.4.3. Воздействие пылевого взрыва

Тепло, образующееся при сжигании пылевых частиц при взрыве пыли и любых выделяемых газах, приведет к быстрому увеличению давления на стенках сосуда, содержащего пылевое облако. На заводах

пылевые взрывы могут привести к смерти и травмам лиц, занятых обработкой материалов, приводящих к пылевым взрывам.

Кроме того, поскольку волна давления, создаваемая взрывом, может вызвать дополнительную пыль, которая может накапливаться на заводе или на внутренних поверхностях зданий, которые может быть выброшена в воздух и создать дополнительное топливо для пламени, и после этого может произойти катастрофический вторичный взрыв[26].

Дополнительными последствиями после волны взрыва пыли являются: пожары, которые могут быть запущены пылевым пламенем.

4. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В данной магистерской работе проводится исследование современных методов анализа риска аварий и пожаров на опасных химических объектах. Объектом исследования был выбран производственный цех, в котором располагается потенциально опасное оборудование – аэрофонтанная сушилка.

Аэрофонтанная сушилка может использоваться в различных отраслях промышленности, где требуется производство свободно текучего порошка. В данном случае это фармацевтическая промышленность. С помощью установки производится сушка пара-нитробензойной кислоты, которая в дальнейшем технологическом процессе учувствует в производстве медицинских препаратов.

Производительность аппарата 100 кг/час, данное количество поступает на стадию сушки. Влажность субстанции 15 – 20 %. Температура на которой проводится сушка 80 °С, при этом перед началом работ аппарат прогревается до температуры 120 °С. Объемный расход теплоносителя 2500 м³/час. Теплоноситель – воздух, нагрев производится с помощью парового калорифера. После стадии перекристаллизации, в пасте, поступающей на сушку, остается влага – вода со следами ЛВЖ и субстанция. Время сушки 1 час.

Участок пневмотранспорта протяженностью 30 м соединяет 2 отделения: отделение сушки и весовое отделение, диаметр трубы 200 мм. Величина осевшего слоя вещества на стенках оборудования может достигать толщины до 0,8-1 мм.

В данной главе приведён расчёт причин, последствий взрыва. Определены скорости окисления и возгорания осевшей пыли в трубах сушилки, рассчитаны риски ее функционирования, определены радиусы поражения при взрыве.

Пара-нитробензойная кислота, Синоним: 4-нитробензойная кислота:

- Брутто формула: $C_7H_5NO_4$
- Молекулярная масса: М.В: 167.12
- горючий кристаллический порошок;

- Т.плавл. 240°C;
- Т.самовоспл. 458°C;
- взрывзвесь взрывоопасна: нижний предел воспл. 20,6 г/м³.

4.1. Расчет критических условий для отложений горючих материалов

4.1.1. Расчёт кинетических параметров реакции окисления

В данном разделе приведён расчёт энергии активации и предэкспоненциальный множитель для реакции окисления пара-нитробензойной кислоты по экспериментальным данным[29].

Коэффициент теплопроводности пара-нитробензойной кислоты $\lambda=0,236$ Вт/(м×К); теплоемкость $c=705,6$ Дж/(кг×К); тепловой эффект реакции $Q=1,15 \times 10^8$ Дж/кг; плотность упаковки материала $\rho=660$ кг/м³.

Расчет проведем для образца размером $D=200$ мм.

Данные для других размеров получим, повторяя приведенную ниже последовательность расчета.

По уравнениям (1) и (2) (Приложение 1) для каждого размера образца вычислим числа Рэлея. Принимая в первом приближении энергию активации $E=100000$ Дж/моль, для образца размером $D=200$ мм получим:

$$Ra = \frac{g}{\nu a} D^3 \frac{RT_0}{E} \quad (1)$$

где

g -ускорение силы тяжести, м/с²;

ν -кинематическая вязкость воздуха при температуре T_0 , м²/с;

a -температуропроводность воздуха при температуре T_0 , м²/с;

D -высота образца, м;

R -универсальная газовая постоянная, Дж/(моль×К);

T_0 -температура рабочего пространства термостата, К;

E -энергия активации реакции окисления. В первом приближении допускается принимать равной 100 кДж/моль.

$$Ra = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_0}} D^3 \frac{RT_0}{E} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{353}} (20 \cdot 10^{-2})^3 \frac{8,314 \cdot 353}{100000} = 4241000$$

2. Коэффициент теплоотдачи α найдем по уравнению (3) (Приложение 1):

$$\alpha = 0,54 Ra^{0,25} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_0^3 = 0,54 \cdot 4241000^{0,25} \frac{0,029}{0,2} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 = 13,53 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}),$$

где теплопроводность воздуха определена по формуле (5):

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_0 = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 353 = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К}).$$

3. Вычислим критерий Bi , соответствующий размеру и коэффициенту теплоотдачи для каждого образца:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda} = \frac{45,6 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,236} = 19,3.$$

4. Величина функции $\varphi(Bi)$, учитывающей интенсивность теплообмена образца с воздухом, для полученного значения Bi составит:

$$\begin{aligned} \varphi(Bi) &= \frac{Bi}{2} \left(\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi \right) \exp \frac{\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi - 2}{Bi} = \\ &= \frac{19,3}{2} \left(\sqrt{19,3^2 + 4} - 19,3 \right) \exp \left(\frac{\sqrt{19,3^2 + 4} - 19,3 - 2}{19,3} \right) = 0,904. \end{aligned}$$

5. Рассчитаем параметры β и γ :

$$\beta = \frac{RT_0}{E} = \frac{8,314 \cdot 353}{100\,000} = 2,9 \cdot 10^{-2};$$

$$\gamma = \frac{cRT_0^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,314 \cdot 353^2}{1,15 \cdot 10^7 \cdot 100000} = 6,35 \cdot 10^{-4}$$

6. Критическое значение параметра Франк-Каменецкого будет равно:

$$\begin{aligned} \delta_{кр} &= \delta_{0\varphi}(Bi)(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) = \\ &= 2,52 \cdot 0,904(1 + 0,029)(1 + 2,4 \cdot 0,000635^{2/3}) = 2,38, \end{aligned}$$

где δ_0 - критическая величина параметра δ , соответствующая интенсивному теплообмену, для образцов кубической формы равная 2,52.

Таблица 8. Полученные значения

Размер r , м	T_0 , К	Ra	α , Вт/(м ² ×К)	Bi	$\varphi(\text{Bi})$	$\beta \times 10^{-2}$	$\gamma \times 10^{-3}$	$\delta_{\text{кр}}$
0,2	353	4241000	13,53	45,1	0,957	2,9	6,35	2,52
0,2	363	3799000	14,3	47,6	0,959	3	6,72	2,53
0,2	373	3425000	15,13	49,3	0,961	3,1	7,09	2,54
0,2	383	3107000	16,03	50,1	0,961	3,2	7,5	2,55
0,2	393	2834000	16,9	52,8	0,963	3,3	7,9	2,56

7. По уравнению (13) для образца 200 мм рассчитаем величину M :

$$M = \frac{\delta_{\text{кр}} RT_0^2}{r^2 \rho} = \frac{2,38 \cdot 8,314 \cdot 353^2}{(20 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 80} = 8,1 \cdot 10^5.$$

8. С помощью этих значений и уравнения (12, Приложение 1) методом наименьших квадратов определим значения N и энергию активации E [29].

$$M = Ne^{-\frac{E}{RT_0}} \quad (2)$$

$$N = \frac{EQk_0}{\lambda} = 4,8 \cdot 10^{12} \quad (3)$$

9. Вычислим предэкспоненциальный множитель реакции окисления Qk_0/λ , путем деления N на E .

Таблица 9. Полученные значения

Размер r , м	T_0 , К	M , $\frac{\text{Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{К}}{\text{кг} \cdot \text{моль}}$	N , $\frac{\text{Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{К}}{\text{кг} \cdot \text{моль}}$	E , Дж/моль	Qk_0/λ , м × К/кг
0,2	353	$8,1 \times 10^5$	$2,1 \times 10^{22}$	134 980	$1,5 \times 10^8$
0,2	363	$8,6 \times 10^5$			
0,2	373	$9,1 \times 10^5$			
0,2	383	$9,7 \times 10^5$			
0,2	393	$1,02 \times 10^6$			

10. Повторяя расчет с величиной энергии активации $E=134980$, найдем новые значения энергии активации $E=134950$ Дж/моль и предэкспоненциального множителя $Qk_0/\lambda=1,55 \times 10^8$ м×К/кг. Так как последние величины практически не отличаются от предыдущих, процесс итераций следует прекратить и за кинетические параметры реакции окисления паранитробензойной кислоты принять $E=134 950$ Дж/моль и $Qk_0/\lambda=1,50 \times 10^8$ м × К/кг[29].

4.1.2. Расчёт критической температуры

Рассчитать критическую температуру окружающей среды при транспортировании пара-нитробензойной кислоты через пневмотранспорт[29]. Пневмотранспорт представляет собой трубу диаметром 0,2 м, длиной 30 м.

Исходными данными для расчета являются:

- плотность материала $\rho=1.61$ кг/дм³.
- коэффициент теплопроводности материала $\lambda=0,236$ Вт/(м×К)
- теплоемкость исследуемого материала $c=705,6$ Дж/(кг×К);
- теплота реакции $Q=350\,000$ Дж/кг;
- энергия активации реакции окисления $E=50740$ кДж/моль
- предэкспоненциальный множитель $Qk_0/\lambda=1,5 \times 10^8$ м×К/кг.

1. Для заданной формы и размеров трубы определим величину критерия Франк-Каменецкого δ_0 [29].

Таблица 10. Формы и размеры трубы.

Форма тела	S_0
Бесконечная пластина толщиной $2r$	0,88
Бесконечный цилиндр радиусом r	2,00
Бесконечный квадратный стержень, сторона $2r$	1,70
Сфера радиусом r	3,32
Цилиндр радиусом r высотой $2r$	2,76
Куб, высота $2r$	2,52
Тетраэдр, радиус вписанной сферы r , сторона $2a=2\sqrt{6}r$	2,23
Полусфера	6,27

2. Отношение квадратов полувысоты пневмотранспорта к эквивалентной сфере Франк-Каменецкого рассчитаем как для прямоугольного бруса по выражению[29]:

$$\frac{a^2}{R_0^2} = \frac{2}{3\pi} \left[\arctg \left(\frac{pq}{\sqrt{1+p^2+q^2}} \right) + \frac{1}{p^2} \arctg \left(\frac{q}{p\sqrt{1+p^2+q^2}} \right) + \psi \right] = 0,712,$$

$$\text{где } \psi = \frac{1}{q^2} \arctg \left(\frac{q}{p\sqrt{1+p^2+q^2}} \right) + \frac{\sqrt{1+p^2+q^2}}{pq} = 1,785;$$

$a=0.2$ м, $b=0.2$ м, $c=30$ м, a - наименьшая сторона; $p=b/a=1$, $q=c/a=150$.

Подставляя p , q в эти равенства, получим:

$$\frac{a^2}{R_0^2} = 0,712 \cdot$$

3. Средний радиус эквивалентной сферы Семенова равен:

$$R_c = \frac{3V}{S} = \frac{3 \cdot 0,2 \cdot 30 \cdot 0,2}{2 \cdot (0,2 \cdot 30 + 30 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,2)} = 0,15,$$

где V, S - объем и поверхность.

4. На основании и двух последних выражений отношение квадратов радиусов эквивалентных сфер Франк-Каменецкого и Семенова составит

$$\sigma = \frac{R_0^2}{R_c^2} = \frac{a^2}{0,539 \cdot 1,88^2} = \frac{0,1^2}{0,712 \cdot 0,15^2} = 0,624 \cdot$$

5. Фактор формы прямоугольного бруса по равен:

$$j = 3\sigma - 1 = 3 \cdot 0,624 - 1 = 0,872 \cdot$$

6. Согласно функция $F(j)$ будет равна:

$$F(j) = \frac{(2j+6)}{(j+7)} = \frac{2 \cdot 0,872 + 6}{0,872 + 7} = 0,98 \cdot$$

7. В соответствии с параметр δ_0 составит:

$$\delta_0 = \frac{3F(j)a^2}{R_0^2} = 3 \cdot 0,98 \cdot 0,712 = 2,09 \cdot$$

8. Подставим полученную величину δ_0 в формулу

$$\delta_{кр} = \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_0^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_0}} \quad (4)$$

вместо $\delta_{кр}$ и, решив ее относительно T_0 , получим нулевое приближение для этой температуры, равное 260 К.

9. С помощью полученной величины рассчитаем:

$$\gamma = \frac{cRT_0^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,314 \cdot 260^2}{3,5 \cdot 10^5 \cdot 50 \cdot 740} = 0,022$$

- параметр, определяющий выгорание вещества;

$$\beta = \frac{RT_0}{E} = \frac{8,314 \cdot 260}{50 \cdot 740} = 0,043$$

- параметр, характеризующий реакцию окисления.

10. Так как для размеров упаковок, превышающих 1 м, $\varphi(Bi) \approx 1$, безразмерное значение критического параметра Франк-Каменецкого, учитывающего выгорание вещества и свойства реакции горения, определим по формуле[29]:

$$\delta_{кр} = \delta_0 (1 + 2,4\gamma^{2/3})(1 + \beta) = 2,09(1 + 2,4 \cdot 0,022^{2/3})(1 + 0,043) = 2,6.$$

11. Решив уравнение относительно температуры, получим $T_0 = 263$ К (или -10°C). Следовательно, при транспортировке пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте при температуре воздуха, превышающей -10°C , возможно самовозгорание транспортируемого продукта[29].

4.1.3. Пример расчета критического размера

Рассчитать минимальный безопасный размер насыпи при транспортировании пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте[29].

Расчет проведем для верхней границы диапазона климатического перепада температур в средней полосе России, равной 40°C , или 313 К.

Исходными данными для расчета критического размера являются:

- плотность упаковки материала $\rho = 660$ кг/м³;
- коэффициент теплопроводности материала $\lambda = 0,236$ Вт/(м×К);
- теплоемкость исследуемого материала $c = 705,6$ Дж/(кг×К);
- теплота реакции $Q = 350\,000$ Дж/кг;
- энергия активации реакции окисления $E = 50740$ Дж/моль;
- предэкспоненциальный множитель $Qk_0/\lambda = 1,5 \times 10^8$ м×К/кг.

1. Выполнив расчет в соответствии с пп. 1-7 расчёта критической температуры, найдем, что $\delta_0 = 1,78$.

2. Для температуры $T_0 = 313$ К вычислим параметры β и γ :

$$\beta = \frac{RT_0}{E} = \frac{8,314 \cdot 313}{50\,740} = 0,0513;$$

$$\gamma = \frac{cRT_0^2}{QE} = \frac{780 \cdot 8,314 \cdot 313^2}{3,5 \cdot 10^5 \cdot 50\,740} = 0,032.$$

3. Считая $\varphi(Bi) = 1$, определим параметр $\delta_{кр}$ по формуле

$$\delta_{кр} = \delta_0 (1 + \beta) (1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 2,09(1 + 0,0513)(1 + 2,4 \cdot 0,032^{2/3}) = 2,72.$$

4. В первом приближении минимальный размер найдем из выражения:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda RT_0^2 \delta_{кр} e^{\frac{E}{RT_0}}}{EQk_0 \rho}} = \sqrt{\frac{8,314 \cdot 313^2 \cdot 2,72 e^{\frac{50740}{8,314 \cdot 313}}}{50740 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \cdot 660}} = 0,36 \text{ м.}$$

5. Для полученного размера вычислим число Рэлея:

$$Ra = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_0}} D^3 \frac{RT_0}{E} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{313}} \cdot 0,2^3 \frac{8,314 \cdot 313}{50740} = 8,9 \cdot 10^6.$$

6. Коэффициент теплоотдачи α найдем по уравнению:

$$\alpha = 0,135 Ra^{0,333} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_0^3 = 0,135 (8,9 \cdot 10^6)^{0,333} \frac{0,03}{0,2} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 313^3 = 11,07 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}.$$

где теплопроводность воздуха определена по формуле:

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_0 = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 313 = 0,027 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}.$$

7. Вычислим критерий Bi , соответствующий размеру и коэффициенту теплоотдачи для каждого образца:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda} = \frac{11,07 \cdot 0,36}{2 \cdot 0,236} = 8,4.$$

8. Величина функции $\varphi(Bi)$, учитывающей интенсивность теплообмена образца с воздухом, для полученного значения Bi составит:

$$\begin{aligned} \varphi(Bi) &= \frac{Bi}{2} \left(\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi \right) \exp \frac{\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi - 2}{Bi} = \\ &= \frac{11,07}{2} \left(\sqrt{11,07^2 + 4} - 11,07 \right) \exp \left(\frac{\sqrt{11,07^2 + 4} - 11,07 - 2}{11,07} \right) = 0,799. \end{aligned}$$

9. Критическое значение параметра Франк-Каменецкого будет равно:

$$\delta_{кр} = \delta_0 \varphi(Bi) (1 + \beta) (1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 2,09 \cdot 0,799 (1 + 0,0513) (1 + 2,4 \cdot 0,032^{2/3}) = 2,1.$$

10. По формуле вычислим новое значение размера насыпи материала:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda RT_0^2 \delta_{кр} e^{\frac{E}{RT_0}}}{EQk_0 \rho}} = \sqrt{\frac{8,314 \cdot 313^2 \cdot 2,1 e^{\frac{50740}{8,314 \cdot 313}}}{50740 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \cdot 660}} = 0,31.$$

11. Сравнивая это значение r с его величиной, полученной в п. 5, видим, что транспортировка пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте представляет опасность самовозгорания этого продукта.

4.1.4. Пример расчета времени индукции

Рассчитать время индукции при транспортировке пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте при температуре 80°C (353 К) [29].

Время индукции – время от момента перемешивания реагентов до момента, когда становятся заметно отличными от нуля скорость реакции или количество прореагировавшего вещества [29].

Исходными данными для расчета являются:

- температура перевозки материала $T_0=353$ К;
- критическая температура самовозгорания для заданного размера и формы упаковки материала $T_{кр}=263$ К;
- фактор формы упаковки материала $j=1,11$;
- размер упаковки $r=1,35$ м;

1. По температуре T_0 ВЫЧИСЛИМ параметры β и γ :

$$\beta = \frac{RT_0}{E} = \frac{8,314 \cdot 353}{50740} = 0,057 ;$$

$$\gamma = \frac{cRT_0^2}{QE} = \frac{780 \cdot 8,314 \cdot 353^2}{3,5 \cdot 10^5 \cdot 50740} = 0,045 .$$

2. Найдем число Рэлея:

$$Ra = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_0}} D^3 \frac{RT_0}{E} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{353}} \cdot 0,2^3 \frac{8,314 \cdot 353}{50740} = 8,35 \cdot 10^6 .$$

3. Коэффициент теплоотдачи α определим по уравнению:

$$\alpha = 0,135 Ra^{0,333} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_0^3 = 0,135 (8,35 \cdot 10^6)^{0,333} \frac{0,03}{0,2} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^8 \cdot 293^3 = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К}).$$

где теплопроводность воздуха определена по формуле:

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_0 = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 293 = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К}).$$

4. Вычислим критерий B_i , соответствующий размеру и коэффициенту теплоотдачи для каждого образца:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda} = \frac{9,2 \cdot 1,35}{0,236} = 52,6.$$

5. По формуле рассчитаем параметр δ , соответствующий температуре хранения T_0 , и параметр $\delta_{кр}$ [29].

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_0^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_0}} = \\ &= 1,5 \cdot 10^8 \cdot 52,6 \frac{50740}{8,314 \cdot 353^2} 1,35^2 e^{-\frac{50740}{8,314 \cdot 353}} = 16,2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{кр} &= \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_{кр}^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_{кр}}} = \\ &= 1,5 \cdot 10^8 \cdot 52,6 \frac{50740}{8,314 \cdot 263^2} 1,35^2 e^{-\frac{50740}{8,314 \cdot 263}} = 0,079 \end{aligned}$$

6. Вычислим относительное удаление от предела воспламенения:

$$\Delta = \frac{\delta}{\delta_{кр}} = \frac{18,4}{0,09} = 205$$

и функции

$$f_1(\Delta, \gamma) = 1 + 0,62 \frac{1 - 4 \cdot \Delta^2 \sqrt{\gamma}}{(\Delta - 0,95)^{0,9}} = 1 + 0,62 \frac{1 - 4 \cdot \Delta^2 \sqrt{0,031}}{(\Delta - 0,95)^{0,9}} = 1,1$$

$$f_2(j, Bi, \Delta) = 1 - \frac{[1 + 1,5(1 - 0,1\Delta)j]Bi}{16(1 + Bi)}$$

$$f_2(j, Bi, \Delta) = 1 - \frac{[1 + 1,5(1 - 0,1\Delta)j]Bi}{16(1 + Bi)} = 1 - \frac{[1 + 1,5(1 - 0,1 \cdot 205)1,11]52,6}{16(1 + 52,6)} = 2,93.$$

7. Рассчитаем безразмерное время индукции:

$$\tau = f_1(\Delta, \gamma) f_2(j, Bi, \Delta) (1 + 2\beta) = 1,1 \cdot 2,93 (1 + 2 \cdot 0,057) = 3,6.$$

8. Определим размерное время индукции $t_{II}(c)$ по формуле

$$t_{II} = \frac{\tau c RT_0^2}{Q k_0 E} e^{\frac{E}{RT_0}} = \frac{3,5 \cdot 705,6 \cdot 8,314 \cdot 353^2}{1,5 \cdot 10^8 \cdot 0,236 \cdot 50740} e^{\frac{50740}{8,314 \cdot 353}} = 48365 \text{ с} = 13,43 \text{ ч} = 0,56 \text{ суток.}$$

4.1.5. Расчет критической температуры нагретой поверхности оборудования для отложений веществ

Рассчитать критическую температуру наружной поверхности электрооборудования для отложений пара-нитробензойной кислоты толщиной 1 см[29].

Исходными данными для расчета критической температуры отложений на нагретой поверхности оборудования являются[29]:

- температура среды, в которой образуются отложения, $T_0=353$ К; (рабочая температура)
- толщина отложений $h=0,01$ м;

1. Принимая в первом приближении величину критерия $Bi=4$ и температуру нагретой поверхности оборудования T_Γ равной 500 К, вычислим среднюю (между температурами нагретой поверхности и газового пространства) температуру T_{cp} по формуле[29]:

$$T_{cp} = \frac{T_\Gamma - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 = \frac{500 - 353}{2(2 \cdot 4 + 1)} + 353 = 361 \text{ К}.$$

2. Рассчитаем комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{361}} = 1,6 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 361 = 3 \cdot 10^{-2}.$$

2. По найденным выше значениям определим другую величину критерия Bi :

$$Bi = \left(C^4 \sqrt[4]{\frac{g}{va} \frac{h^3 (T_\Gamma - T_0)}{T_0 (2Bi + 1)} \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$\left(0,27 \sqrt[4]{\frac{1,6 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (500 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)} \times \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3} \right) \times \\ \times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,301,$$

где C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз.

4. Найденное значение Bi отличается от найденного ранее не более чем на 10%. Подставим последнее значение Bi и получим величину $Bi = 0,34$. Так как это значение отличается от предыдущего более чем на 10%, подставим последнее значение Bi и получим величину $Bi = 0,34$ [29].

$$T_{cp} = \frac{T_r - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 = \frac{500 - 353}{2(2 \cdot 0,31 + 1)} + 353 = 398 \text{ К}.$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{398}} = 1,025 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 398 = 3,2 \cdot 10^{-2}.$$

$$Bi = \left(C_4 \sqrt[4]{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$\left(0,27 \sqrt[4]{\frac{1,025 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (500 - 353)}{353(2 \cdot 0,31 + 1)} \times \frac{3,2 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3} \right) \times \\ \times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,34$$

Так как последняя и предыдущая величины отличаются друг от друга менее чем на 10%, в дальнейших расчетах используется величина $Bi = 0,301$ [29].

5. Произведем вычисления по формулам:

$$\Theta_0 = \frac{E}{RT_r^2} (T_r - T_0) = \frac{50740}{8,31 \cdot 500^2} (500 - 353) = 3,6;$$

$$\alpha = 1 + 2,28e^{-0,65\Theta_0} = 1 + 2,28e^{-0,65 \cdot 3,6} = 1,2;$$

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi}{1 + 2Bi} \right)^2 \left\{ \Theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right\}^2 = \\ = \frac{1}{2 \cdot 1,2} \left(\frac{0,301}{1 + 2 \cdot 0,301} \right)^2 \left\{ 3,6 + 2 \ln \left[2 \left(1,2 + \sqrt{1,2(1,2-1)} \right) \right] \right\}^2 = 0,536.$$

6. Для температуры T_r определим параметры β , γ и вычислим критическую величину δ :

$$\beta = \frac{RT_r}{E} = \frac{8,31 \cdot 500}{50740} = 0,081;$$

$$\gamma = \frac{cRT_G^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,31 \cdot 500^2}{350000 \cdot 50740} = 0,082;$$

$$\delta_{кр} = \delta(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 0,536(1 + 0,081)(1 + 2,4 \cdot 0,082^{2/3}) = 0,84.$$

7. Подставим величину $\delta_{кр}$ в уравнение и найдем новое значение температуры: $T_G = 424$ К.

8. Используя это значение T_G , повторим расчет параметров и найдем новое значение температуры: $T_G = 444$ К.

Используя это значение T_G , повторим расчет параметров и найдем новое значение температуры: $T_G = 444,5$ К.

9. Так как предыдущее и последнее значения температуры отличаются друг от друга менее чем на 1°C , за критическую температуру примем результат последнего расчета. $T_G = 444,5$ К.

4.1.6. Расчет критической температуры нагрева тепловой изоляции технологического трубопровода

Рассчитать критическую температуру наружной поверхности технологического трубопровода для теплоизоляции толщиной 1,5 см[29].

Исходными данными для расчета критической температуры являются:

- температура окружающей среды $T_0 = 353$ К;
- скорость движения воздуха внутри трубопровода $V = 0,7$ м/с;
- толщина теплоизоляции $h = 0,015$ м;

1. Принимая в первом приближении величину критерия B_i на холодной стенке слоя $Bi_x = 4$ и температуру нагретой технологической трубы $T_G = 500$ К (равной температуре среды внутри трубопровода), вычислим среднюю (между температурами холодной и горячей поверхности слоя) температуру T_{cp} по формуле[29]:

$$T_{cp} = \frac{T_G - T_0}{2(2Bi_x + 1)} + T_0 = \frac{500 - 353}{2(2 \cdot 4 + 1)} + 353 = 361 \text{ К}$$

2. Рассчитаем комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха по уравнениям:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{361}} = 1,616 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 361 = 3 \cdot 10^{-2}.$$

3. По найденным выше значениям определим другую величину критерия Bi_x на холодной стенке слоя по выражению:

$$Bi_x = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi_x + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,54^4 \sqrt{\frac{1,616 \cdot 10^{10} \cdot 0,015^3 (500 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)} \times \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,015} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3} \right) \times$$

$$\times \frac{0,015}{2 \cdot 0,236} = 0,56.$$

Найденное значение Bi_x отличается от принятого ранее более чем на 10%. Пересчитаем значение Bi_x и получим новую величину $Bi_x=2,28$.

$$T_{cp} = \frac{T_r - T_0}{2(2Bi_x + 1)} + T_0 = \frac{500 - 353}{2(2 \cdot 0,56 + 1)} + 353 = 387K$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{387}} = 1,163 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 387 = 3,2 \cdot 10^{-2}.$$

$$Bi_x = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi_x + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,54^4 \sqrt{\frac{1,163 \cdot 10^{10} \cdot 0,015^3 (500 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)} \times \frac{3,2 \cdot 10^{-2}}{0,015} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3} \right) \times$$

$$\times \frac{0,015}{2 \cdot 0,236} = 0,556.$$

Так как последняя и предыдущая величины отличаются друг от друга менее чем на 10%, в дальнейших расчетах используется величина $Bi_x=0,56$ [29].

4. Определим значение кинематической вязкости воздуха по выражению[29]:

$$v = 7,87 \cdot 10^{-11} T_{cp}^2 + 5,01 \cdot 10^{-8} T_{cp} - 6,4 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 7,87 \cdot 10^{-11} \cdot 361^2 + 5,01 \cdot 10^{-8} \cdot 361 - 6,4 \cdot 10^{-6} = 2,1 \cdot 10^{-5}.$$

5. Вычислим величину критерия Bi на горячей стенке слоя по формуле:

$$Bi_T = \left(0,018 \left(\frac{Vh}{\nu} \right)^{0,8} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_T^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,018 \left(\frac{1 \cdot 0,015}{2,1 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,8} \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,015} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 500^3 \right) \frac{0,015}{2 \cdot 0,236} = 3,097 \cdot$$

6. Произведем вычисления по формулам:

$$\Theta_0 = \frac{E}{RT_T^2} (T_T - T_0) = \frac{50740}{8,31 \cdot 500^2} (500 - 300) = 3,6;$$

$$\alpha = 1 + 2,28e^{-0,65\Theta_0} = 1 + 2,28e^{-0,65 \cdot 3,6} = 1,2;$$

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi_T Bi_X}{2Bi_T Bi_X + Bi_T + Bi_X} \right)^2 \left\{ \Theta_0 + 2 \ln \left[2(a + \sqrt{a(a-1)}) \right] \right\}^2 =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 1,2} \left(\frac{0,56 \cdot 3,097}{2 \cdot 0,556 \cdot 3,097 + 0,556 + 3,097} \right)^2 \times$$

$$\times \left\{ 3,6 + 2 \ln \left[2 \left(1,2 + \sqrt{1,2(1,2-1)} \right) \right] \right\}^2 = 0,926 \cdot$$

7. Для температуры T_T определим параметры β , γ и вычислим критическую величину δ [29]:

$$\beta = \frac{RT_T}{E} = \frac{8,31 \cdot 500}{50740} = 0,081;$$

$$\gamma = \frac{cRT_T^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,31 \cdot 500^2}{350000 \cdot 50740} = 0,082;$$

$$\delta_{кр} = \delta(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 0,926(1 + 0,081)(1 + 2,4 \cdot 0,082^{2/3}) = 1,45 \cdot$$

8. Подставим величину $\delta_{кр}$ в уравнение δ и найдем новое значение температуры: $T_T = 418$ К.

9. Используя это значение T_T , повторим расчет и найдем новое значение температуры: $T_T = 421$ К.

Используя это значение T_T , повторим расчет найдем новое значение температуры: $T_T = 421$ К.

Так как предыдущее и последнее значения температуры не отличаются друг от друга, принимаем последнее значение за критическую температуру[29].

4.1.7. Расчет критического размера отложений вещества на нагретой поверхности оборудования

Исходными данными для расчета критического размера отложений на нагретой поверхности оборудования являются [29]:

- температура поверхности, на которой образуются отложения, $T_{\Gamma}=530\text{K}$;
- температура газовой среды около холодной поверхности слоя $T_0=353\text{K}$;

1. Принимая в первом приближении величину критерия $Bi=4$, в соответствии с формулами определим температуру T_{cp} , комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха:

$$T_{cp} = \frac{T_{\Gamma} - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 = \frac{530 - 353}{2(2 \cdot 4 + 1)} + 353 = 362 \text{ K};$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{362}} = 1,59 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 362 = 3 \cdot 10^{-2}.$$

2. Принимая значение h равным 0,01 м, по выражению рассчитаем другое значение критерия Bi :

$$Bi = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_{\Gamma} - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{1,59 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (530 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)} \times \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3} \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,305,$$

где C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз.

3. Найденное в значение Bi отличается от найденного ранее более чем на 10%. Подставим последнее значение Bi в формулу:

$$T_{cp} = \frac{T_{\Gamma} - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 = \frac{530 - 353}{2(2 \cdot 0,305 + 1)} + 353 = 407 \text{ K};$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{407}} = 9,2 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 407 = 3,3 \cdot 10^{-2}.$$

$$Bi = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{9,2 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (530 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)}} \times \frac{3,3 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,73,$$

Найденное значение Bi отличается от предыдущего более чем на 10%.

Подставим последнее значение Bi в формулу:

$$T_{cp} = \frac{T_r - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 = \frac{530 - 353}{2(2 \cdot 0,73 + 1)} + 353 = 388 \text{ K};$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{388}} = 1,49 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 388 = 3,2 \cdot 10^{-2}.$$

$$Bi = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{va T_0 (2Bi + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{1,49 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (530 - 353)}{353(2 \cdot 4 + 1)}} \times \frac{3,2 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,571,$$

Так как последняя и предыдущая величины отличаются друг от друга более чем на 10%, в дальнейших расчетах используется величина $Bi = 0,73$ [29].

4. Вычислим безразмерный температурный перепад Θ_0 , а также параметры α , δ , β , γ , $\delta_{кр}$:

$$\Theta_0 = \frac{E}{RT_r^2} (T_r - T_0) = \frac{50740}{8,31 \cdot 530^2} (530 - 353) = 3,8;$$

$$\alpha = 1 + 2,28 e^{-0,65\Theta_0} = 1 + 2,28 e^{-0,65 \cdot 3,8} = 1,19;$$

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi}{1 + 2Bi} \right)^2 \left\{ \Theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right\}^2 =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 1,19} \left(\frac{0,73}{1 + 2 \cdot 0,73} \right)^2 \times$$

$$\times \left\{ 3,8 + 2 \ln \left[2 \left(1,19 + \sqrt{1,19(1,19-1)} \right) \right] \right\}^2 = 1,4.$$

5. Для температуры T_T определим параметры β , γ и вычислим критическую величину δ :

$$\beta = \frac{RT_T}{E} = \frac{8,31 \cdot 530}{50740} = 0,086;$$

$$\gamma = \frac{cRT_T^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,31 \cdot 530^2}{350000 \cdot 50740} = 0,092;$$

$$\delta_{кр} = \delta(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 1,4(1 + 0,086)(1 + 2,4 \cdot 0,092^{2/3}) = 2,26.$$

6. Подставим величину $\delta_{кр}$ в выражение:

$$h = 2 \sqrt{\frac{8,31 \cdot 530^2 \cdot 2,26 e^{\frac{50740}{8,31 \cdot 530}}}{50740 \cdot 1,5 \cdot 10^{12}}} = 0,0166 \text{ м.}$$

7. Полученное значение толщины слоя более чем на 5% отличается от предыдущего. Используя последнее значение h , производим вычисления определяем следующее значение: $h=0,0170$ м[29].

Так как предыдущее и последнее значения толщины слоя отличаются друг от друга менее чем на 5%, за критический размер принимается результат последнего расчета $h=0,0170$ м[29].

4.1.8. Расчет критической температуры для отложений веществ в технологическом оборудовании

Рассчитать критическую температуру газовой среды внутри технологического аппарата для отложений пара-нитробензойной кислоты толщиной 1 см[29].

Исходными данными для расчета критической температуры отложений на внутренней поверхности оборудования являются[29]:

- температура среды в производственном помещении $T_0=353$ К;
- толщина отложений $h=0,01$ м;

1. Принимая в первом приближении величину критерия Bi на холодной стенке $Bi_x=2$, значение критерия Bi на горячей стенке $Bi_l=4$, температуру среды в технологическом оборудовании T_T равной 500 К, вычислим среднюю (между

температурами холодной поверхности и прилегающего газового пространства) температуру по формуле[29]:

$$T_{cp_x} = \frac{T_\Gamma - T_0}{2} b_x + T_0 = \frac{530 - 353}{2} \frac{4}{4 + 2 \cdot 4 \cdot 2 + 2} + 300 = 316 \text{ К.}$$

2. Рассчитаем комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха около холодной стенки по уравнениям[29]:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{316}} = 3,249 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 316 = 2,7 \cdot 10^{-2}.$$

3. По найденным выше значениям определим другую величину критерия Bi на холодной стенке по выражению[29]:

$$Bi_x = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_\Gamma - T_0)}{va T_0}} b_x \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (500 - 353) \cdot 4}{353(4 + 2 \cdot 4 \cdot 2 + 2)}} \times \frac{2,7 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,577,$$

где C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз[29].

4. Найденное значение Bi_x отличается от найденного ранее более чем на 10%. Подставим последнее значение Bi_x в формулу:

$$T_{cp_x} = \frac{T_\Gamma - T_0}{2} b_x + T_0 = \frac{500 - 353}{2} \frac{4}{4 + 2 \cdot 4 \cdot 0,577 + 0,577} + 300 = 342 \text{ К.};$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{342}} = 2,122 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 342 = 2,9 \cdot 10^{-2};$$

$$Bi_x = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_\Gamma - T_0)}{va T_0}} b_x \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{2,122 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (500 - 353) \cdot 4}{353(4 + 2 \cdot 4 \cdot 0,577 + 0,577)}} \times \frac{2,9 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,304.$$

в дальнейших расчетах используется величина $Bi_x=0,577$.

5. С учетом последних значений критерия Bi вычислим среднюю (между температурами горячей поверхности и прилегающего газового пространства) температуру по формуле:

$$T_{cp_r} = \frac{1}{2}(T_r(2-b_r)+T_0b_r)=$$

$$= 0,5 \left(500 \left(2 - \frac{0,577}{4 + 2 \cdot 0,577 \cdot 4 + 0,577} \right) + 300 \frac{0,577}{4 + 2 \cdot 0,577 \cdot 4 + 0,577} \right) = 493\text{K}.$$

6. Рассчитаем комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха около горячей стенки по уравнениям:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{493}} = 4,349 \cdot 10^9;$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 493 = 3,9 \cdot 10^{-2}.$$

7. По найденным выше значениям определим другую величину критерия Bi на горячей стенке по выражению:

$$Bi_r = \left(C \sqrt[4]{\frac{g}{va} \frac{h^3}{T_r} (T_r - T_0)} b_r \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_r^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27 \sqrt[4]{\frac{4,349 \cdot 10^9 \cdot 0,01^3 (500 - 353) \cdot 0,577}{353(4 + 2 \cdot 4 \cdot 0,577 + 0,577)}} \times \frac{3,9 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 500^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,673,$$

где C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз.

8. Найденное значение Bi_r отличается от найденного ранее более чем на 10%. Подставим последнее значение Bi_r в формулу[29]:

$$T_{cp_r} = \frac{1}{2}(T_r(2-b_r)+T_0b_r)=$$

$$= 0,5 \left(\begin{array}{l} 500 \left(2 - \frac{0,577}{0,673 + 2 \cdot 0,577 \cdot 0,673 + 0,577} \right) + \\ + 300 \frac{0,577}{0,673 + 2 \cdot 0,577 \cdot 0,673 + 0,577} \end{array} \right) = 467\text{K} .$$

Рассчитаем комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха около горячей стенки по уравнениям[29]:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{467}} = 5,3 \cdot 10^9;$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 489,5 = 3,7 \cdot 10^{-2}.$$

По найденным выше значениям определим другую величину критерия Bi на горячей стенке по выражению[29]:

$$Bi_r = \left(C^4 \sqrt{\frac{g}{va} \frac{h^3 (T_r - T_0)}{T_r}} b_r \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_r^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{5,3 \cdot 10^9 \cdot 0,01^3 (500 - 353) \cdot 0,577}{353(4 + 2 \cdot 4 \cdot 0,577 + 0,577)}} \times \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 500^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,673.$$

Так как последняя и предыдущая величины отличаются друг от друга менее чем на 10%, в дальнейших расчетах используется величина $Bi_r = 0,673$ [29].

9. Подставляем последнее значение Bi_r в формулу:

$$T_{cp_x} = \frac{T_r - T_0}{2} b_x + T_0 = \frac{500 - 353}{2} \frac{0,673}{0,673 + 2 \cdot 0,673 \cdot 0,577 + 0,577} + 300 = 324\text{K} ;$$

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{324}} = 2,8 \cdot 10^{10};$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 324 = 2,8 \cdot 10^{-2};$$

$$Bi_x = \left(C^4 \sqrt{\frac{g}{va} \frac{h^3 (T_r - T_0)}{T_0}} b_r \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3 \right) \frac{h}{2\lambda} =$$

$$= \left(0,27^4 \sqrt{\frac{2,8 \cdot 10^{10} \cdot 0,01^3 (500 - 353) \cdot 0,673}{353(0,673 + 2 \cdot 0,673 \cdot 0,577 + 0,577)}} \times \frac{2,8 \cdot 10^{-2}}{0,01} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 353^3 \right) \times$$

$$\times \frac{0,01}{2 \cdot 0,236} = 0,28.$$

в дальнейших расчетах используется величина $Bi_X=0,28$.

10. Произведем вычисления по формулам:

$$\Theta_0 = \frac{E}{RT_G^2}(T_G - T_0) = \frac{50740}{8,31 \cdot 500^2}(500 - 353) = 3,588;$$

$$\alpha = 1 + 2,28e^{-0,65\Theta_0} = 1 + 2,28e^{-0,65 \cdot 3,588} = 1,221;$$

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi_G Bi_X}{2Bi_G Bi_X + Bi_G + Bi_X} \right)^2 \left\{ \Theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right\}^2 =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 1,221} \left(\frac{0,28 \cdot 0,673}{2 \cdot 0,28 \cdot 0,673 + 0,28 \cdot 0,673} \right)^2 \times$$

$$\times \left\{ 3,588 + 2 \ln \left[2 \left(1,221 + \sqrt{1,221(1,221-1)} \right) \right] \right\}^2 = 1,683.$$

11. Для температуры T_G определим параметры

$$\beta = \frac{RT_G}{E} = \frac{8,31 \cdot 500}{50740} = 0,081;$$

$$\gamma = \frac{cRT_G^2}{QE} = \frac{705,6 \cdot 8,31 \cdot 500^2}{350000 \cdot 50740} = 0,082$$

и вычислим критическую величину δ :

$$\delta_{кр} = \delta(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) = 1,683(1 + 0,081)(1 + 2,4 \cdot 0,082^{2/3}) = 2,643.$$

12. Подставим величину $\delta_{кр}$ в уравнение приведённое ниже и найдем новое значение температуры T_G :

$$5,468 = 1,5 \cdot 10^8 \frac{50740}{8,31 \cdot T_G^2} 0,005^2 e^{-\frac{50740}{8,31 \cdot T_G}},$$

откуда $T_G=535$ К.

13. Используя это значение T_G , повторяем расчет параметров и получаем новую величину: $T_G=530$ К.

Используя это значение T_G , повторяем расчет параметров и получаем новую величину: $T_G=530,6$ К.

Так как предыдущее и последнее значения температуры отличаются друг от друга менее чем на 1°C , принимаем последнюю величину $T_G=530,6$ К за критическую температуру[29].

5. СТРУКТУРНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАСЧЁТА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Данная «Структурно-методологическая схема расчёта физико-химических данных» (Рисунок 7) предназначена для формирования документов о безопасности и документов технологического регламента производства.

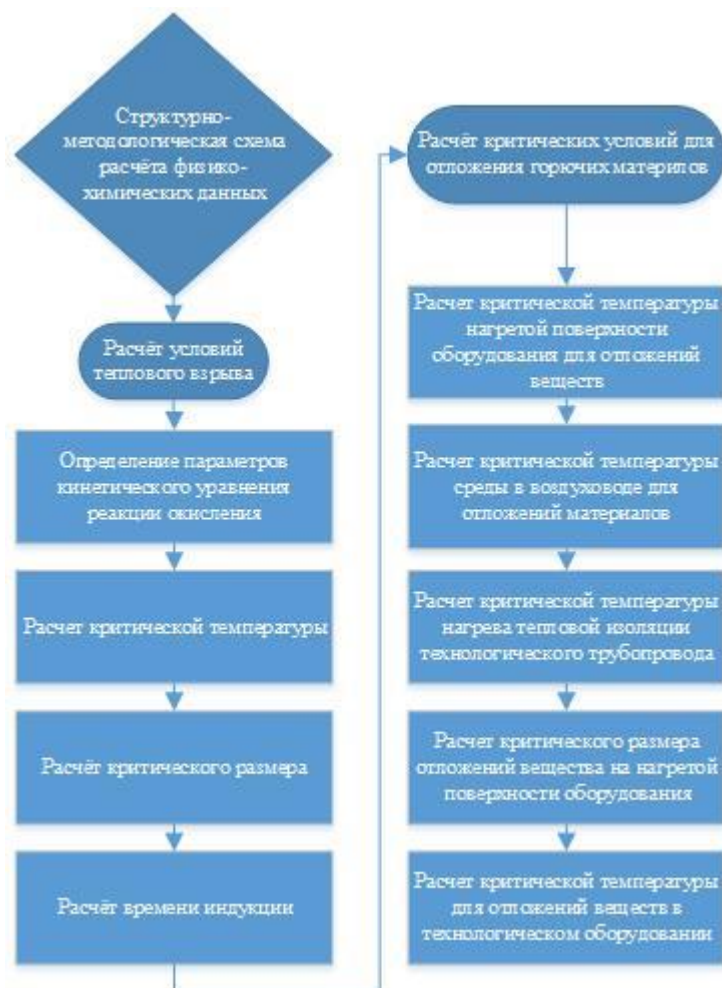


Рисунок 7. Структурно-методологическая схема расчёта физико-химических данных

Технологическим регламентом – является нормативный документ определённого предприятия, который используется для внутреннего пользования, данный документ утверждает методы производства, технические средства, технологические нормативы, детальный порядок и условия ведения технологического процесса.

Данный документ позволяет получить готовую продукцию по качеству, отвечающую требованиям российских или международных стандартов. Также Технологический регламент вводит наиболее безопасные способы ведения работ, которые в то же время способствуют достижению оптимальных технико-экономических показателей производства.

В Технологическом регламенте прописываются все процессы производства с высокой степенью детализации:

- какие операции и как выполнять в различных ситуациях;
- как правильно вести режим;
- какие температуры, давления и расходы выдерживать;
- как правильно изменять основные технологические параметры и характеристики;
- что и в какой последовательности открывать/закрывать.

Обязательным условием наличия технологического регламента пожарной безопасности является – осуществление технологического процесса с применением взрывоопасных веществ. (Утвержденный 01.05.2009 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» базируется на старом Технологическом регламенте пожарной безопасности с использованием новых понятий и терминов).

6. РАСЧЁТ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Вследствие того, что наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на объекте является взрыв, проведём расчёт зон поражения ударной волны.

Для реализации комбинированного или детонационного взрыва для пылевоздушной смеси обязательным условием является создание концентрации продукта в воздухе в пределах нижнего и верхнего концентрационного предела.

При взрывах веществ выделяют 4 зоны поражения.

1. Бризантная зона (детонационная).
2. Зона действия продуктов взрыва (огненного шара).
3. Зона действия ударной волны.
4. Зона теплового поражения и токсического задымления.

Производительность аппарата 100 кг/час, данное количество поступает на стадию сушки. Влажность субстанции 15 – 20 %. Температура на которой проводится сушка 80°C, при этом перед началом работ аппарат прогревается до температуры 120°C. Объемный расход теплоносителя 2500 м³/час. Теплоноситель – воздух, нагрев производится с помощью калорифера. После стадии перекристаллизации остается влага – вода со следами ЛВЖ, и субстанция требует сушки. Время сушки 1 час.

Участок пневмотранспорта протяженностью 30 м, диаметр трубы 200 мм. Величина осевшего слоя вещества на стенках оборудования может достигать толщины до 0,8-1 мм.

Избыточное давление в зоне разлета продуктов взрыва (на границе огненного шара) определялось по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = 1300 \times \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3 + 50 = 324,8 \text{ кПа}$$

Избыточное давление в зоне действия воздушной ударной волны ($R_3=1,7 \cdot R_1=4,7$ м) вычисляли по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41(R_3/R_1)^3 - 1}} = 167,32 \text{ кПа}$$

Радиусы зон полных ($\Delta P_{\phi} = 50$ кПа), сильных ($\Delta P_{\phi} = 30$ кПа), средних ($\Delta P_{\phi} = 20$ кПа), слабых ($\Delta P_{\phi} = 10$ кПа) разрушений находим по зависимости:

$$R_3 = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_{\phi} + 1)^2 - 1}{0,41}}$$

Радиус полных разрушений $\Delta P_{\phi} = 50$ кПа:

$$R_{полн} = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_{\phi} + 1)^2 - 1}{0,41}} = 11,8 м$$

Радиус сильных разрушений $\Delta P_{\phi} = 30$ кПа:

$$R_{сильн} = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_{\phi} + 1)^2 - 1}{0,41}} = 15,9 м$$

Радиус средних разрушений $\Delta P_{\phi} = 20$ кПа:

$$R_{сред} = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_{\phi} + 1)^2 - 1}{0,41}} = 20,42 м$$

Радиус слабых разрушений $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа:

$$R_{сл} = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_{\phi} + 1)^2 - 1}{0,41}} = 31,6 м$$

Продолжительность существования огненного шара $t_{св}$, с, определяли по формуле:

$$t = (0,45/0,85) \sqrt[3]{M} \quad (5)$$

где M – масса ТВС, кг.

$$t = (0,45/0,85) \sqrt[3]{M} = 2,45 с$$

Исходя из данных расчётов, можно увидеть, насколько опасен возможный взрыв на объекте. В зоне полных разрушений находится само оборудование, и возможно присутствие людей. В зоне сильных разрушений расположено сопутствующее технологическому процессу оборудование и весовая комната, в которой находится готовый продукт. В результате взрыва может возникнуть эффект домино и существует вероятность создание одного

мощного взрыва, который приведёт к полному разрушению не только установки, но и всего производственного цеха.

В случае чрезвычайной ситуации на потенциально опасном объекте, может быть подвергнуто опасности большое количество людей, а так же материальны ценностей.

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Суть выпускной квалификационной работы по теме: «Современные методы анализа риска аварий и пожаров на опасных химических объектах» заключается в изучении риска аварий и пожаров на опасном химическом объекте, в цеху завода по изготовлению лекарственных препаратов. Производится расчёт риска аварий и пожаров, способы минимизации рисков, способы уменьшения воздействия поражающих факторов аварий и пожаров а так же составляется дерево событий которые могут привести в чрезвычайной ситуации на объекте исследования.

Экономическая часть направлена на закрепление и углубление теоретических знаний и практических навыков в области экономики, организации и управления производством.

Заинтересованным лицом в полученных данных будет являться Главное управление МЧС России по Томской области.

7.1. Предпроектный анализ

7.1.3. Потенциальные потребители результатов исследования

Сегментирование рынка услуг по анализу рисков аварий и пожаров осуществляется по следующим критериям: размер компании и вид организации.

		<i>Метод переработки ТКО</i>		
		ГУ МЧС по ТО	НИТПУ	ООО «Органика»
<i>Размер компании</i>	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рисунок 8 – Карта сегментирования рынка услуг по утилизации ТКО

 - фирма А,  фирма В,  фирма С.

Вывод: Основным сегментом данного рынка является анализ аварий и пожаров на опасных химических объектах. Данный метод анализа наиболее часто используется в крупных организациях, т.к. требует большого количества времени, людей и средств. Прочим организациям предпочтительнее воспользоваться услугами компаний, которые осуществляют работы в данном виде деятельности.

7.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Таблица 11. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота эксплуатации	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	4	3	1	0,24	0,18	0,06
3. Уровень шума	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
4. Устойчивость климатическому воздействию	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
5. Надежность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
6. Безопасность	0,09	3	3	3	0,27	0,27	0,27
7. Монтаж	0,07	4	4	5	0,28	0,28	0,35
8. Устойчивость к огню	0,09	3	2	3	0,27	0,18	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	5	3	0,45	0,45	0,27
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	4	4	2	0,08	0,08	0,04
3. Цена	0,09	3	3	4	0,27	0,27	0,36
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
5. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
6. Наличие сертификации разработки	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Итого	1				4,04	3,82	3,52

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (6)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

7.3. Технология QuaD

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 12. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Простота эксплуатации	0,09	100	100	1	0,09
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	60	100	0,6	0,036
3. Уровень шума	0,05	60	100	0,6	0,03
4. Устойчивость климатическому воздействию	0,07	60	100	0,6	0,42
5. Надежность	0,09	100	100	1	0,09
6. Безопасность	0,09	50	100	0,5	0,045
7. Монтаж	0,07	50	100	0,5	0,045
8. Устойчивость к огню	0,09	20	100	0,2	0,018
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
9. Конкурентоспособность продукта	0,09	100	100	1	0,09
10. Уровень проникновения на рынок	0,02	60	100	0,6	0,012
11. Цена	0,09	20	100	0,2	0,018
12. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	100	100	1	0,06
13. Срок выхода на рынок	0,05	60	100	0,6	0,03
14. Наличие сертификации разработки	0,08	100	100	1	0,08
Итого	1				0,686

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (7)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

$$P_{cp} = 0.09 \cdot 100 + 0.06 \cdot 60 + 0.05 \cdot 60 + 0.07 \cdot 60 + 0.09 \cdot 100 + 0.09 \cdot 50 + 0.07 \cdot 50 + 0.09 \cdot 20 + 0.09 \cdot 100 + 0.02 \cdot 60 + 0.09 \cdot 20 + 0.06 \cdot 100 + 0.05 \cdot 60 + 0.08 \cdot 100 = 68,6$$

Значение P_{cp} равный 68,6 говорит о том. Что перспективность разработки считается выше среднего, и её следует развивать.

7.3.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Таблица 13– Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Повышение безопасности технологического процесса. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Снижение вреда для окружающей среды. С5. Актуальность проекта.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Высокие цены на оборудование. Сл2. Нехватка точных сведений. Сл3. Нет финансирования для реализации проекта. Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл5. Отсутствие опыта в проектировании.</p>
<p>Возможности: В1. Очень широкая область применения.</p>	<p>-Имея в наличии новейшие технологии для проведения сушки веществ, а так же</p>	<p>-Испытание в работе и получение положительных результатов.</p>

<p>В2. Финансирование и реализация проекта.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Поддержание проекта со стороны органов исполнительной власти Томской области.</p>	<p>опытный персонал на объекте, возможно создать партнёрские отношения с рядом других организаций, а так же получение финансирования.</p> <p>-Получить дополнительный спрос на повышение безопасности технологических процессов на заводе.</p>	<p>-Разработка на основе имеющихся нормативных документов.</p> <p>-Получение опыта в проектировании и получение необходимого оборудования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Изменение требований в нормативно-технической документации для объектов данного типа.</p> <p>У4. Большие затраты для реализации данного проекта.</p>	<p>-Продвижение разрабатываемого проекта с акцентированием на его достоинствах.</p> <p>-В дальнейшем планируется расширение области применения объектов защиты.</p>	<p>-Испытание проектной разработки в работе и доказательство наибольшей эффективности, чем у конкурентов.</p>

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	0	+	+	0	0
	В3	+	+	+	+	0
	В4	+	+	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: В1В2С2С3, В3С1С2С3С4, В4С1С2С4.

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	0	0	-	0	-
	В2	-	-	-	0	-
	В3	0	-	+	-	0
	В4	-	-	0	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В3Сл3, В4Сл4Сл5.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	-	0
	У2	0	0	-	+	0
	У3	+	-	0	+	+
	У4	0	0	-	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угрозы: У2У3С4.

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	0	+	+	0
	У2	+	-	0	-	0
	У3	-	0	-	0	-
	У4	+	-	0	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угрозы: У1У2Сл1, У4Сл1Сл4.

7.4. Планирование научно-исследовательских работ структура работ в рамках научного исследования

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
Практические исследования	9	Составление сравнительной таблицы	студент
	10	Проведение расчетов по теме	
Оценка полученных результатов	12	Оценка и анализ полученных результатов	Студент
	13	Эффективность предложенных идей	Науч. Рук, студент.

7.5. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{max i}}{5} \quad (8)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (9)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7.6. Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (10)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (11)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. А).

Согласно производственному и налоговому календарю на 2016 год, количество календарных 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных и праздничных 119 дней (количество предпраздничных дней – 15, количество выходных дней – 104), таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48$$

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы ВКР	2	3	3	3	4	4	2	3	3	Студент и научный руководитель	1	1	1	2	2	2
Анализ актуальности темы	1	1	1	2	2	2	1	1	1	Студент и научный руководитель	1	1	1	2	2	2
Постановка задач	2	2	3	3	3	4	2	2	3	Студент	2	2	3	3	3	4
Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	2	2	2	4	4	4	3	3	3	Студент, научный руководитель	1	1	1	2	2	2
Подбор литературы по тематике работы	4	4	5	6	6	8	5	5	6	Студент	5	5	6	7	7	9
Сбор материалов и анализ существующих методик	10	15	14	15	17	17	12	16	16	Студент	12	16	16	18	24	24
Анализ конкурентных методик	5	10	10	8	12	12	6	11	11	Студент	6	11	11	9	16	16
Проведение расчетов по теме	15	7	7	17	9	9	16	8	8	Студент, научный руководитель	8	4	4	12	6	6
Оценка и анализ полученных результатов	4	2	2	5	4	4	4	3	3	Студент	4	3	3	6	4	4
Работа над выводами по проекту	6	1	2	8	3	4	7	2	3	Студент, научный руководитель	2	1	1	3	2	2

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение темы ВКР	Студент и научный руководитель	2	■	▨												
2	Анализ актуальности темы	Студент и научный руководитель	2	▨	■												
3	Постановка задач	Студент	3		■												
4	Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	Студент, научный руководитель	2			▨											
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	7			■	■	■									
6	Сбор материалов и анализ существующих методик	Студент	18				■	■	■	■							
7	Анализ конкурентных методик	Студент	9						■	■	■						
8	Проведение расчетов по теме	Студент	12							■	■	■	■				
9	Оценка и анализ полученных результатов	Студент	3										■				
10	Работа над выводами по проекту	Студент, научный руководитель	3											■	▨		

■ – студент; ▨ – научный руководитель;

7.7. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

7.8. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх.i} \quad (12)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх.i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Бумага	лист	200	150	100	3	3	3	600	450	300
Картридж	шт.	1	1	1	500	500	500	500	500	500
Дополнительная литература	шт.	1	2	1	400	350	330	400	700	350
Итого								1900	1300	1150

7.9. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При выполнении проекта по решению проблем локальных систем оповещения покупка специального оборудования не производилась.

7.10. Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{\text{осн/зн}} = \sum t_i \cdot C_{\text{зн}_i} \quad (13)$$

где t_i - затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях, $C_{\text{зн}_i}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{\text{зн}_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} \quad (14)$$

где D - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы), K - районный коэффициент (для Томска – 30%), F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Для руководителя:

$$C_{\text{зн}_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} = \frac{16751,29 + 16751,29 \cdot 0,3}{22} = 989,84$$

Для студента:

$$C_{\text{зн}_i} = \frac{D + D \cdot K}{F} = \frac{6976,22 + 6976,22 \cdot 0,3}{22} = 412,2$$

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.			Основная заработная плата, руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	16751,29	989,8	13	8	8	12867,4	7918,4	7918,4
Студент	6976,22	412,2	40	45	46	16488	18549	18961,2
ИТОГО						29355,4	26467,4	26879,6

7.11. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:)

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (15)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

Таблица 22 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	12867,4	7918,4	7918,4	0,15	1930,11	1187,76	1187,76
Студент	16488	18549	18961,2		2473,2	2782,35	2844,18
Итого					4403,31	3970,11	4031,94

7.12. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (16)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%[‡].

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. Б).

[‡] Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	12867,4	7918,4	7918,4	1930,11	1187,76	1187,76
Студент-дипломник	16488	18549	18961,2	2473,2	2782,35	2844,18
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	9148,61					
Исполнение 2	8248,56					
Исполнение 3	8377,02					

7.13. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (17)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равен 0,5.

7.14. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	1900	1300	1150
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	29355,4	26467,4	26879,6
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4403,31	3970,11	4031,94
4. Отчисления во внебюджетные фонды	9148,61	8248,56	8377,02
5. Накладные расходы	22403,66	19993,035	20219,28
6. Бюджет затрат НТИ	67210,98	59979,1	60657,84

Из данной таблицы видно, что минимальный бюджет НТИ представлен вторым исполнением и составляет 59979,1 рубль.

7.15. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (18)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{67210,98}{67210,98} = 1; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{59979,1}{67210,98} = 0,89; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{60657,84}{67210,98} = 0,9;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (19)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	4	3	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	28	21	25

$$I_{p-исн1} = 4*0,1 + 5*0,15 + 5*0,15 + 5*0,2 + 4*0,25 + 5*0,15 = 4,65;$$

$$I_{p-исн2} = 3*0,1 + 2*0,15 + 4*0,15 + 5*0,2 + 3*0,25 + 4*0,15 = 3,55;$$

$$I_{p-исн3} = 4*0,1 + 4*0,15 + 4*0,15 + 5*0,2 + 5*0,25 + 3*0,15 = 4,3.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исн1}}{I_{финр}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исн1}}{I_{финр}} = \frac{4,65}{1} = 4,65; \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исн2}}{I_{финр}} = \frac{3,55}{0,89} = 3,98; \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исн3}}{I_{финр}} = \frac{4,3}{0,9} = 4,7.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (21)$$

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,89	0,9
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,55	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	3,98	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,9	0,8	1

Вывод

В результате выполненного анализа экономической эффективности было произведено сегментирование рынка, результатом которого был выбор наиболее перспективных сегментов. В результате анализа конкурентных технических решений наиболее конкурентоспособным оказалось исполнение 2. Анализ качества и перспективности данной разработки показал, что она является перспективной, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности составило 68,6%.

В работе представлен перечень этапов и работ, а также распределены исполнители. Исполнителями являются: научный руководитель и студент. Представлен календарный план график НИОКР, на котором определены временные интервалы выполнения конкретных этапов.

Проведён расчёт материальных затрат, минимальные затраты составили 1150 рублей (Исполнение 3). Проведён расчёт основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и расчет накладных расходов. По результатам расчетов сделан вывод о том, что минимальный бюджет НТИ составил 59979,1 рубль (Исполнение 2).

Были рассчитаны интегральные финансовые показатели разработок, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения.

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Мировой опыт деятельности организаций и сторон, заинтересованных в успехе этой деятельности, способствует все большему осознанию потребности в социально ответственном поведении и его преимуществ. Целью социальной ответственности является содействие устойчивому развитию.

Результативность организации в отношении общества, в котором она функционирует, и ее воздействия на окружающую среду стала крайне важной частью оценки ее общей результативности и способности продолжать функционировать эффективно. В этом частично отражается растущее осознание необходимости поддержания здоровых экосистем, социальной справедливости и хорошего организационного управления. В долгосрочной перспективе все действия организации зависят от благополучия мировых экосистем. Организации все больше подвергаются критике различных заинтересованных сторон. Осознание преимуществ и оценка результатов деятельности в области социальной ответственности могут влиять, помимо прочего, на:

- ее конкурентные преимущества;
- ее репутацию;
- ее способность привлекать и удерживать трудящихся или членов (организации), клиентов, заказчиков или пользователей;
- поддержание морального состояния, вовлеченности и производительности работников;
- взгляды инвесторов, владельцев, доноров, спонсоров и финансового сообщества;
- ее взаимоотношения с компаниями, правительствами, средствами массовой информации, поставщиками, организациями-аналогами, клиентами и сообществом, в котором организация функционирует.

Аварии на объекте могут привести к взрыву и пожару. При различных обстоятельствах авария может перерасти в чрезвычайную ситуацию (ЧС) с поражением персонала, транспортных коммуникаций, транспортных средств и

оборудования, находящихся на объекте, а так же населения, проживающего вблизи.

8.1. Производственная безопасность

8.1.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Оператор сушильной установки основную работу выполняет, находясь в одном помещении с сушилкой. На рабочем месте оператор регулярно контактирует с пылью в воздухе, что не может не сказаться на его здоровье. Основная задача в данном разделе – снизить вред здоровью человека от постоянного пребывания в зоне нахождения пыли.

Условия труда пользователя, работающего на объекте, определяются особенностями организации рабочего места, условиями производственной среды (освещение, микроклимат, шум, электромагнитные и электростатические поля).

К физическим вредным и опасным факторам относятся:

Таблица 27. Вредные и опасные факторы.

Источник фактора, наименование видов работ	Вредные	Опасные	Нормативные документы
<p>-Источником высокого уровня шума будут являться вентиляторы, которые приводят в действие установку.</p> <p>- Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны будет из-за присутствия в воздухе пыли пара-нитробензойной кислоты.</p> <p>-Источников освещения служат 24 линейных люминесцентных</p>	<p>1.Отказ фильтра перед вентилятором, что приведёт к большому выбросу пара-нитробензойной кислоты в воздух, что может привести к отравлению;</p> <p>2.Превышение уровней шума.</p> <p>3.Отсутствие или недостаток искусственного освещения.</p> <p>4.Повышенная</p>	<p>1.Повышенный уровень опасности взрыва;</p> <p>2.Повышенный уровень опасности пожара;</p> <p>3.Угроза обрушения конструкции;</p> <p>4.Поражение электрическим током.</p>	<p>-Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96[4].</p> <p>-Нормы по шуму: ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности[5].</p> <p>-Нормирование освещения: СНиП 23-05-95 и СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03[6].</p> <p>-ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и</p>

лампы. -Хрупкость конструкции создаёт опасность физического повреждения рабочих.	температура поверхностей оборудования, материалов.		вредные производственные факторы. Классификация[8]. -Правила устройства электроустановок. Издание 7.
Химические вредные и опасные производственные факторы			
-Воздействие аэрозвеси пара-нитробензойной кислоты на работников.		-Наличие в воздухе паранитробензойной кислоты, которая может оказывать токсичное влияние на организм.	ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»[9].

8.1.4. Опасность взрыва

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на одинаковые категории, и данное помещение принадлежит категории Б. Помещения в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 градусов Цельсия, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

В помещении присутствует большая масса пыли пара-нитробензойной кислоты. Данное вещество способно образовывать пылевоздушную смесь, которая является взрывоопасной.

Как и в случае с горючими жидкостями и воспламеняющимися газоздушными смесями, для образования взрыва должны быть выполнены определенные требования для подходящего источника воспламенения смеси пыли и воздуха. Взрыв не может произойти, если отсутствует одно из следующих факторов: горючая пыль, воздух, источник воспламенения.

Источником воспламенения может послужить множество факторов, таких как: электрические искры, механические искры, электрические дуги, открытое пламя, электростатический разряд и т.д.

8.1.5. Защитные меры от взрыва

Взрыв можно предотвратить путём исключения источников воспламенения. Эта мера предотвращает воспламенение взрывоопасной атмосферы и включает в себя принятие мер по предотвращению воспламенения, то есть, устранение потенциальных источников воспламенения.

Стоит применять конструктивные взрывозащитные меры, это позволит предотвратить опасные взрывы или снизить воздействие взрыва до безопасного уровня. Например:

- Использование взрывобезопасных конструкций, это позволит ограничить взрыв во внутренней части герметичных или взрывобезопасных контейнерах. Это те устройства, которые могут выдерживать многократно определённое взрывное давление без деформации;
- Взрывозащитные барьеры.

Взрывобезопасность достигается: контролем состава воздушной среды, применением герметичного производственного оборудования, рабочей и аварийной вентиляции, отводом взрывоопасной смеси в безопасное место, выбором скоростных режимов движения среды.

8.1.6. Опасность пожара

Категория помещения по пожароопасности, как было сказано ранее Б.

Так как в помещении присутствует большая масса пыли паранитробензойной кислоты, возможно образование не только аэрозвеси способной взрываться, но и аэрогеля способного к горению. Данное свойство материала может привести к пожару на объекте.

Для возникновения пожара пылевых отложений на поверхности оборудования должны присутствовать три фактора одновременно: горючая

пыль, кислород содержащийся в воздухе (окислитель) и источник инициации (воспламенения).

Источником воспламенения аэрогеля могут послужить те же причины, что и для возникновения взрыва.

Защитные меры по предупреждению пожара на объекте

Необходим тщательный контроль за технический исправностью оборудования, регулярный мониторинг исправности нагревательных элементов, электропроводки, использование теплоизоляции на пневмотранспорте и всех сопутствующих транспортировочных конструкциях.

Обрушение конструкции

Сушильный аппарат, достаточно сложно конструктивен и состоит из многих элементов таких как: устройство подачи субстанции, шнековых дозаторов, калорифера, вентиляторов, сушильной камеры, пневмотранспорта и т.д. В связи с этим создаётся достаточно громоздкая конструкция, которая в случае взрыва или пожара может обрушиться, как и весь цех.

Обрушение конструкции уже является ущербом для предприятия, но данное событие может причинить ущерб здоровью и жизни людей, работающих в цехе, что является наиболее важным.

Причинами обрушения могут стать: Неправильная эксплуатация оборудования (перегрузка), не проведено плановое техническое обслуживание, нарушение техники безопасности, столкновение с погрузочной машиной, которая отвозит мешки с готовым продуктом, пожар и взрыв в помещении.

Мерами по защите от обрушения будет служить укрепление конструкции, и снижение воздействия каждого перечисленного фактора.

8.1.7. Поражение электрическим током

Помещение, в котором находится исследуемый объект, в соответствии с классификацией помещений по степени опасности поражения людей электрическим током, относится к категории II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с

полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними[9].

подавляющее большинство несчастных случаев поражения током происходит вследствие случайного прикосновения человека к неизолированным проводам, клеммам, рубильникам и другим частям электрических устройств, находящихся под напряжением.

Различают два случая прикосновения: однополюсное и двухполюсное. Однополюсным называется случайное прикосновение человека к одному проводу электрической сети, а двухполюсным — одновременное прикосновение к двум проводам[9].

Двухполюсное прикосновение представляет наибольшую опасность, так как в этом случае величина поражающего тока достигает предельного значения. Однако данный вид - поражения встречается крайне редко.

Стоит заметить, что влажные условия среды увеличивают риск поражения электрическим током за счет снижения сопротивления кожи.

Даже незначительное на первый взгляд поражение электрическим током является опасным для организма человека, так как последствия при поражении электрическим током на такие органы как легкие, сердце, нервная система, проявляются не сразу, а спустя некоторое время.

Первая помощь – мероприятия, направленные на восстановление или сохранение здоровья и жизни потерпевшему. Ее оказывает тот человек, кто находится рядом с потерпевшим или сам потерпевший до прибытия медицинского персонала[9].

Степень тяжести поражения электрическим током зависит от пути протекания тока через организм человека, от величины напряжения электрического прибора, от физического состояния человека, а также на

сколько своевременно и качественно будет оказана первая медицинская помощь.

Помощь пострадавшему не должна заменять собой помощь медицинского персонала и должна оказываться до прибытия врача.

Если пострадавший соприкасается с токоведущими частями, необходимо быстро освободить его от действия электрического тока. Прикасаться к человеку, находящемуся под напряжением, опасно для жизни. Поэтому нужно быстро отключить ту часть установки, которой касается пострадавший. Для освобождения пострадавшего от провода следует воспользоваться сухой одеждой, доской или каким-либо другим предметом, не проводящему электрический ток или взяться за его одежду (если она сухая), избегая при этом прикосновения к металлическим предметам и открытым частям тела[9].

Далее необходимо:

- уложить пострадавшего на спину на твердую поверхность;
- проверить наличие у пострадавшего дыхания (определить по подъему грудной клетки, запотеванию зеркала и пр.);
- проверить наличие пульса на лучевой стороне у запястья или на сонной артерии на переднебоковой поверхности шеи;
- выяснить состояние зрачка, широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга;
- вызов врача во всех случаях обязателен.

В случае клинической смерти следует провести сердечно-легочную реанимацию.

Защитные меры от поражения током.

Для устранения опасности поражения электрическим током применяют различные защитные средства. К ним относятся:

- а) средства изоляции человека от земли и токоведущих частей — изолирующие подставки, коврики, галоши и перчатки;

б) инструменты и приспособления для работы под напряжением— штанги, клещи и монтерский инструмент;

в) приборы, указывающие напряжение, - трубки с неоновой лампой, индикаторные лампы на щитах и др.

Для устранения опасности случайного прикосновения или приближения к голым, незащищенным частям установок, которые находятся под напряжением, эти части или установки в целом ограждают.

Токоведущие части у переносных ламп, бытовых приборов и инструментов ограждают независимо от того, к какому напряжению они подключены. При высоком напряжении ограждают не только голые, но и изолированные токоведущие части, так как не исключена возможность пробоя или механического повреждения изоляции при эксплуатации электрооборудования.

Ограждение от случайного прикосновения на установках с напряжением до 1000В выполняется в виде крышек или коробов, закрывающих голые токоведущие части.

Ограждения снабжают сеткой и дверьми с блокировкой, что позволяет автоматически отключать устройство, когда его части становятся доступными для прикосновения.

Металлические части установок могут быть случайно замкнуты на корпус. Для того чтобы можно было безопасно прикоснуться к этим частям, их заземляют.

8.1.8. Химические факторы

К химическим вредным и опасным факторам, относятся:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны пара-нитробензойной кислоты;
- воздействие пара-нитробензойной кислоты на организм.

Пути отравления. Отравление идет, главным образом, через кожу и дыхательные органы. Отравление нитро с единениями идет через кожу вследствие резорбции (всасывания), даже тогда когда кожа не

повреждена, а только загрязнена. Так как яд поступает медленно, то отравление имеет хронический характер. Отравление через дыхательные пути происходит при вдыхании паров или пыли (например, при сушке, просеивании и упаковке).

Отравление через дыхательные пути (вдыхание паров, аэрозолей). Необходимо прежде всего вывести пострадавшего на свежий воздух или (в холодное время года) в теплое проветренное помещение и немедленно вызвать врача. До прихода врача пострадавшего ни в коем случае нельзя оставлять без присмотра, даже если его состояние на первый взгляд не вызывает опасений. Выраженные симптомы острой интоксикации — дыхательная и сердечно-сосудистая недостаточность, потеря сознания и т. п.— могут развиваться внезапно на фоне временного улучшения самочувствия (например, при отравлении окислами азота).

Наиболее опасным и частым видом отравления в эксплуатации является отравление через дыхательные пути вследствие большой всасывающей поверхности легких (около 90 у взрослого человека) и крайне тесного соприкосновения воздушной среды с кровью.

4-Нитробензойная кислота очень опасна для человека. При попадании внутрь орально вещество проявляет острую токсичность, т.к. класс опасности вещества согласно паспорту безопасности 4.

Средствами пожаротушения для 4-нитробензойной кислоты являются несколько способов – это разбрызгивание воды, пена, сухой порошок для тушения. Использование для пожаротушения струи воды не подходит для данного вещества. В случае пожара могут образовываться: оксиды азота, окись углерода, диоксид углерода. Следует тушить пожар с достаточного расстояния, соблюдая обычные меры предосторожности. Рекомендуется надеть автономный дыхательный аппарат.

Вещество способно образовывать взрывоопасную пыль.

8.1.9. Термический ожог

Помещение по пожароопасности относится к категории Б. Это помещения в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна,

легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 градусов Цельсия, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

Источниками получения термического ожога могут послужить нагревательные элементы сушильной установки (калорифер), пневмотранспорт и все трубы, по которым транспортируется вещество в смеси с воздухом нагретое до 80 С_о и выше, выбросы газов жидкостей, имеющих высокую температуру, сушильная камера. Так же в случае возгорания аэрогеля (пылевых отложений на поверхности оборудования), может возникнуть пожар, который в свою очередь может привести к термическим ожогам.

Защита от воздействия на человека поверхностей с высокой температурой выполняется путем их тепловой изоляции.

Признаки ожогов:

- первой степени – покраснение кожи;
 - второй степени – появление волдырей на коже;
 - третьей степени – появляется рана, после того как волдыри лопнули;
 - четвёртой степени – обугливание и отсутствие чувствительности.
- Первая помощь при получении термического ожога

В первую очередь нужно устранить поражающий фактор, затем охладить место ожога. Ожоги первой и второй степени следует охлаждать проточной водой не менее десяти-пятнадцати минут. Ожоги третьей и четвёртой степени следует обмотать чистой влажной повязкой, затем вместе с повязкой опустить в прохладную стоячую воду.

Ни в коем случае не стоит смазывать маслом, кремом и т.д. место ожога, отрывать прилипшую одежду, прокалывать пузыри и мочиться на ожог.

8.1.9. Воздухообмен

Параметры микроклимата при отоплении и вентиляции помещений следует принимать по СНИП 2.04.05-91 для обеспечения метеорологических условий и поддержания чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах) [12]:

1. в холодный период года в обслуживаемой зоне жилых помещений температуру воздуха - минимальную из оптимальных температур;
2. в холодный период года в обслуживаемой или рабочей зоне производственных помещений температуру воздуха - минимальную из допустимых температур при отсутствии избытков явной теплоты в помещениях;
3. скорость движения воздуха - в пределах допустимых норм;
4. относительная влажность воздуха при отсутствии специальных требований не нормируется.

Помещение, в котором проводились работы, относится к помещениям с нормальным тепловыделением, обеспечивающим поддержание температуры соответствующей допустимым нормам. Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры от 19 до 24⁰С используется система электрического отопления.

8.1.10. Шум

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», Таблице 2 данного документа, ПДУ составляет 75 дБА[13].

Шум представляет собой беспорядочное сочетание разнообразных звуков, поэтому для понимания физических основ образования и распространения шума, его восприятия человеком и влияния на организм следует рассматривать звук как составную часть всякого шума, включая и производственный.

Колебания источника звука производят попеременное сжатие и разрежение воздуха, образуя волнообразное его колебание,

распространяющееся от источника звука во все стороны в виде увеличивающихся в объеме сфер. Это называется распространением звуковой волны. По мере израсходования, на колебание воздуха сообщенной источником энергии звуковая волна постепенно затухает, поэтому, чем больше энергия источника звука, тем с большей силой происходят колебания воздуха и дальше распространяется звуковая волна. От величины энергии источника звука зависит сила звука, оцениваемая звуковым давлением, которое измеряется в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2).

Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения, прежде всего в органах слуха, нервной и сердечно-сосудистой системах. Степень выраженности этих изменений зависит от параметров шума, стажа работы в условиях воздействия шума, длительности действия шума в течение рабочего дня, индивидуальной чувствительности организма. Действие шума на организм человека отягощается вынужденным положением тела, повышенным вниманием, нервно-эмоциональным напряжением, неблагоприятным микроклиматом.

Эффективным путем решения проблем борьбы с шумом является снижение его уровня в самом источнике за счет изменения технологии и конструкции машин.

В помещении источником шума является вентилятор, приводящий в действие сушильную установку.

Нормы шума для помещения устанавливает:

- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»[13].
- Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91[15].
- Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей» от 07.02.92[16].
- Закон Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.93[17].

8.1.11. Освещение

Цех в котором находится сушильная установка освещается линейными люминесцентными лампам, количество 24 штуки, и весовая комната 6 ламп. Освещение находится в пределах нормы.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, нормой считается для весовой комнаты – 200 Люкс, а для основной лаборатории - 400 Люкс[7].

Существует три вида освещения - естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» в помещениях вычислительных центров необходимо применить систему комбинированного освещения[7].

В операторной кабине, где осуществляет свою работу непосредственно оператор, имеется источник искусственного света для работы в ночное время, и совмещение его с естественным светом в дневное время, тем самым получая совместное освещение.

8.2. Экологическая безопасность

8.2.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

Экологический ущерб от работы сушильной установки проявляется не значительно. Завершающим циклом работы установки пылевоздушная смесь отсасывается вентилятором и направляется в систему пылеочистки, а затем проходит фильтрацию в рукавном фильтре, и обычный подогретый воздух выбрасывается в атмосферу. В случае взрыва и возгорания на объекте произойдет выброс в атмосферу диоксида углерода, что незначительно но способствует в совокупности с другими факторами созданию парникового эффекта на Земле. Сущность этого явления заключается в том, что ультрафиолетовое солнечное излучение достаточно свободно проходит через атмосферу с повышенным содержанием CO_2 и метана CH_4 . Отражающиеся от поверхности инфракрасные лучи задерживаются атмосферой с повышенным

содержанием CO₂, что приводит к повышению температуры, следовательно, и к изменению климата.

Для избегания данных последствий стоит повысить безопасность технологического процесса сушки и минимизировать риск возгорания или взрыва.

8.2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Основными мероприятиями по уменьшению воздействия объекта на окружающую среду, путём выброса веществ будут являться:

- Мониторинг и поддержание полной технической исправности резервуаров хранения пара-нитробензойной кислоты, технологического оборудования, трубопроводов и обеспечение их герметичности.

- Мониторинг и поддержание полной технической исправности фильтрующих агрегатов, своевременное проведение их технического обслуживания.

- Контроль над обеспечением герметичности пневмотранспорта.

- Осуществление загрузки вещества в сушильный аппарат с минимальным количеством операций, во избежание скопления аэрозвеси и аэрогеля вещества.

- Не допускаются переполнение сушильной установки и пересыпание мимо загрузочного бункера.

8.2.3. Твёрдые бытовые отходы

Из сушильных агрегатов высушенные продукты пневмотранспортом через систему сепарации направляют на дальнейшую переработку. Из сушильных агрегатов, осадительных камер, бункеров, промежуточных ёмкостей, механизмов выгрузки и загрузки сырья и продуктов пылевоздушная смесь отсасывается вентилятором и направляется в систему очистки (циклоны, фильтры), а затем выбрасывается в атмосферу.

Готовый продукт в весовой комнате фасуют в полипропиленовые мешки и отправляют на изготовление лекарственных препаратов. Отходом являются полипропиленовые мешки.

Полипропиленовые мешки повторному использованию непригодны и служат сырьем для повторной переработки, но, если мешки использовались для хранения химических веществ как в данном случае, они могут быть уничтожены путём сжигания. Правильная утилизация полипропиленовых мешков — это вклад каждого в уменьшение свалок и чистоту природы.

8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

На объекте существует вероятность следующих ЧС: террористический акт, повреждение несущих конструкций цеха в случае ДТП, чрезвычайных ситуации природного характера (подтопление, ураган, атмосферное электричество, падение метеорита и т.д.).

Пожар, а так же что более вероятно взрыв на объекте может возникнуть вследствие наличия горючей среды в виде высушиваемых материалов, находящихся в камерах в подогретом состоянии.

В воздухе и внутри аппарата находится взрывчатая пара-нитробензойной кислоты, которая способна взрываться. Обычно пылевые взрывы начинаются с небольших хлопков, которые способствуют к поднятию в воздух большего количества пыли. Это может привести к катастрофическому взрыву, который способен разрушить не только сушильную установку, но и весь цех производства.

В случае пылевых взрывов есть вероятность проявления эффекта «Домино», что значит, что один взрыв повлечёт за собой цепочку других, которые будут создавать эффект синергизма, таким образом пылевой взрыв может нанести колоссальный урон предприятию.

Для взрыва пыли необходимо выполнения нескольких параметров одновременно:

- Наличие взрывзвеси;
- Наличие кислорода воздуха;
- Источник инициации взрыва (воспламенения).

Характерными источниками зажигания, общими для большинства типов сушилок являются: искры удара и трения, теплота самовозгорания материалов, разряды статического и атмосферного электричества, разложение, окисление, обугливание и воспламенение пыли и отходов горючих материалов, осевших на поверхности нагрева калориферов или соприкасающихся с нагревательными элементами камер, а также нарушение режима работы сушилок.

Пути распространения пожара в сушилках могут быть:

- горючие материалы;
- системы вентиляции;
- транспортные устройства;
- технологические проёмы.

8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы безопасности при осуществлении работы прописаны в следующих документах:

Должностная инструкция оператора сушильной установки.

ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация. Настоящий стандарт распространяется на сушильные аппараты и установки, предназначенные для сыпучих, пастообразных и текучих материалов в химической, химико-фармацевтической, микробиологической и других отраслях промышленности, и устанавливает классификацию типовых сушильных аппаратов и установок[18].

Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.041-83* "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования" (введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 15 июля 1983 г. N 3276). Настоящий стандарт распространяется на технологическое

оборудование и технологические процессы, в которых присутствуют горючие пыли и устанавливает общие требования к обеспечению их пожаровзрывобезопасности. Стандарт не распространяется на технологическое оборудование и процессы, в которых присутствуют горючие пыли взрывчатых и радиоактивных веществ[3].

Специфические требования пожарной безопасности при эксплуатации сушилок конвекционного типа:

- при загрузке и эксплуатации сушилки не допускается превышать установленную предельно допустимую норму загрузки и предельно допустимую температуру сушки;

- в процессе сушки веществ и материалов необходимо осуществлять контроль концентрации паров в объеме сушильных камер газоанализаторами;

- загрузку тележек горючими материалами в сушилках необходимо производить вне камеры;

- при сушке волокнистых материалов не допускается наматывания волокон на валы питателей, транспортеров и вентиляторов и необходимо соблюдать минимальные зазоры между цапфами валов и подшипниками;

- при сушке измельченных материалов в виде крошки, волокнистой массы и других материалов, склонных к самовозгоранию, необходимо поддерживать установленную оптимальную толщину слоя;

- для предотвращения возможности попадания горючих паров и пыли в помещение, необходимо контролировать герметичность системы;

- для очистки отработанного воздуха от пыли необходимо устанавливать фильтры, циклоны и другие устройства, не допускать отложения пыли в воздуховодах, на стенках камер, в калориферах и др.;

- необходимо предусматривать автоматическую блокировку для отключения нагревательных устройств, при уменьшении скорости движения или остановке транспортных устройств;

- для исключения разрядов статического электричества металлические элементы сушилок должны быть заземлены;

- сушильные установки должны быть оборудованы обособленными системами вентиляции;

- для защиты сушильных камер от избыточного давления необходимо устанавливать предохранительные клапаны.

Вывод

Целью раздела «Социальная ответственность» было рассмотрение характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов влияющих на рабочих, населения и окружающую среду.

В разделе производственная безопасность проведён анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения, а также анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

В разделе экологическая безопасность произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу, литосферу и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

В разделе безопасность в чрезвычайных ситуациях представлен и проанализирован перечень возможных ЧС на объекте исследования, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является взрыв. Проведены разработки по превентивным мерам предупреждения ЧС.

Изучены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью магистерской диссертации было проведение анализа риска на опасном химическом объекте, фармацевтическом производственном цеху.

1) Проведённый анализ опасностей действующего производства, выявил наиболее возможные ЧС для объекта. Ими являются пожар и взрыв.

2) Проведённый расчёт зон поражения от ударной волны, в случае взрыва на объекте установил:

- Радиус зоны полных разрушений ($\Delta P_{\Phi} = 50$ КПА) – 11,8 м.
- Радиус зоны сильных разрушений ($\Delta P_{\Phi} = 30$ КПА) – 15,9 м.
- Радиус зоны средних разрушений ($\Delta P_{\Phi} = 20$ КПА) – 20,42 м.
- Радиус зоны слабых разрушений ($\Delta P_{\Phi} = 10$ КПА) – 31,6 м.

Данные расчёты показывают, насколько опасен возможный взрыв на объекте. В зоне полных разрушений находится само оборудование, и возможно присутствие людей. В зоне сильных разрушений расположено сопутствующее технологическому процессу оборудование и весовая комната, в которой находится готовый продукт. В результате взрыва может возникнуть эффект домино и существует вероятность создание одного мощного взрыва, который приведёт к полному разрушению не только установки, но и всего производственного цеха.

3) Были проведены расчёты критических условий для отложений горючих материалов, в которые входят:

- Проведен расчёт кинетических параметров реакции окисления для температур в диапазоне 80-120 С°, с шагом в 10 С°.

- Установлено, что критической температурой, превысив которую транспортировка пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте представляет опасность самовозгорания является – -10 С°.

- Расчёт критического размера слоя отложения при транспортировании пара-нитробензойной кислоты в пневмотранспорте составляет 0,31 мм. При достижении данного значения транспортировка

вещества в пневмотранспорте представляет опасность самовозгорания.

- Расчётное время индукции при транспортировке вещества, составляет 13,44 час. Рекомендуются проводить чистку аппарата до достижения данного предела времени.

- Расчёт критической температуры нагретой поверхности оборудования для отложения вещества, которая составляет 171,35 С°.

- Расчёт критической температуры нагрева тепловой изоляции технологического трубопровода толщиной 1,5 см, которая составляет 147,85 С°.

- Расчёт критического размера отложений вещества на нагретой поверхности оборудования составляет 0,017 м.

- Расчёт критической температуры отложений веществ в технологическом оборудовании, которая составляет 257,45 С°.

4) На основе проведённых расчётов была сформирована структурно-методическая схема получения расчётным методом физико-химических свойств «химфармсубстанции» для формирования документов о безопасности и документов технологического регламента производства;

5) Выполнен анализ экономической эффективности. Произведено сегментирование рынка, результатом которого был выбор наиболее перспективных сегментов. В результате анализа конкурентных технических решений наиболее конкурентоспособным оказалось исполнение 2. Анализ качества и перспективности данной разработки показал, что она является перспективной, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности составило 68,6%.

В работе представлен перечень этапов и работ, а также распределены исполнители. Исполнителями являются: научный руководитель и студент.

Проведён расчёт материальных затрат, минимальные затраты составили 1150 рублей (Исполнение 3). Проведён расчёт основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и расчет накладных расходов. По результатам расчетов сделан вывод о том, что минимальный бюджет НТИ составил 59979,1 рубль (Исполнение 2).

Были рассчитаны интегральные финансовые показатели разработок, интегральные показатели ресурсоэффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения.

б) Рассмотрены характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов влияющих на рабочих, населения и окружающую среду.

Проведён анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения, а также анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

Представлен и проанализирован перечень возможных ЧС на объекте исследования, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является взрыв.

7) Предложены защитные мероприятия по снижению вероятности взрыва аэровзвеси, и снижению последствий в случае его возникновения:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.3.047-98 "Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля".
2. ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.041-83* "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования"
4. СанПиН 2.2.4-548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
6. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
8. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
10. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
11. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
12. СНиП 2.04.05-91 *. Отопление, вентиляция и кондиционирование
13. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
14. Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91.

15. Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей» от 07.02.92.
16. Закон Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.93.
17. ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация.
18. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.041-83* "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования" (введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 15 июля 1983 г. N 3276).
19. СП 11-107-98 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций». – 1998 г. – 44 с.
20. Séverine, Thérèse, Mortier, F.C., De Beer, Thomas, Gernaey, Krist V., Vercruyssen, Jurgen, et al. “Mechanistic modelling of the drying behavior of single pharmaceutical granules,” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 80, pp. 682–689, 2012.
21. Mezhericher, M., Levy, A. and Borde, I., “Theoretical drying model of single droplets containing insoluble or dissolved solids,” *Dry. Technol.* 25 (6), pp. 1025–1032, 2007.
22. Mezhericher, M., Levy, A. and Borde, I., “Modelling of particle breakage during drying,” *Chem. Eng. Progress.* 47(8), pp. 1404–1411, 2008.
23. Sahnia, E.K., Chaudhuria, B., “Contact drying: A review of experimental and mechanistic modeling approaches,” *International Journal of Pharmaceutics*, 434 pp. 334–348, 2012.
24. Mujumdar, A., “Handbook of Industrial Drying” 2nd ed. edited by Mujumdar, Marcel Dekker Publishing, 1995.
25. Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W. and Terdtoon, P., “Overview of new techniques for drying

biological materials, with emphasis on energy aspects,” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22(2), pp. 195–201, 2005.

26. Управление рисками взрыва пыли [Электронный ресурс] – Электрон. дан. URL: <http://www.dustexplosion.info/risk%20assessment>, свободный, – Яз. англ. Дата обращения: 04.04.2018 г.

27. Combustible Dust Expert Forum Washington, D.C. May 13, 2011, Meeting Report, July 2011, U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration

28. ГОСТ 30333-2007. Паспорт безопасности «4-нитробензойная кислота».

29. Ю.Н. Шебеко; В.И. Горшков / ФГУ ВНИИПО МЧС России / Метод определения теплового возгорания материалов.

30. ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. –М.: Гостехнадзор России, 1994. –10 с.

31. Библиотека экономиста [Электронный ресурс] / Общие сведения об авариях на химически опасных объектах; – Электрон, дан. –М.: Эл. б-ка. URL: <http://www.grandars.ru/>, свободный, – Яз. рус. Дата обращения: 03.08.2016 г.

32. Федеральное агентство по образованию / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова / Теория горения и взрыва / А.Н. Лопанов, Ю.В. Хомченко. –Б.: 2010. – 43 с.

33. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справ. Изд. / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов, А.Я. Корольенко. – М.: Химия. – 1987. – 272 с.

34. Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2010 г. N 86 "Об утверждении технического регламента о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах"

35. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

36. Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах».

37. Руководство по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах».
38. РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах».
39. РД 08-120-96 Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов.
40. . Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М., Машиностроение, 1984.
41. Стандарт МЭК «Техника анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов». Публикация 812 (1985 г.). М., 1987, 23 с.
42. ИЕС 1025: 1990 - Fault tree analysis (FTA)/ Стандарт МЭК «Анализ дерева неполадок», 1990 г. - перевод с франц., СИФ НТЦ ПБ-707).
43. Предупреждение крупных аварий./ Практическое руководство. - Международное бюро труда. Женева. /Московский научно-исследовательский институт охраны труда. - Пер. с англ.- 1992, 256 с.
44. Manual of Industrial Hazard Assesment Techniques (Методика всемирного банка оценки опасности промышленных производств), 1985 г.
45. Guide to Hazardous Industrial Activities (Руководство по ведению опасных работ в промышленности). Hague , 1987 г.
46. Методика оценки последствий химических аварий (методика «ТОКСИ»)/М.:, НТЦ «Промышленная безопасность», 1993 г.
47. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. /М.:, НТЦ «Промышленная безопасность», 1993 г.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Сайков А. А. Современные методы анализа риска аварий и пожаров на химических опасных объектах / А. А. Сайков ; науч. рук. А. И. Сечин // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 25-29 мая 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 2. — [С. 321-324].

2. Овчинникова И. С. Вероятностная модель взрыва газового резервуара на примере объекта города Томска / И. С. Овчинникова, А. А. Сайков // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, г. Юрга, 17-19 ноября 2016 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 420-424].

3. Ministry of Education and Science of the Russian Federation
federal state autonomous educational institution
higher education
“NATIONAL RESEARCH TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY”

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 3
магистерской диссертации, выполненной на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Сайков Алексей Алексеевич		

Консультант школы отделения (ОКД) _____ (Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности, отделения контроля и диагностики) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (ОИЯ) школы _____ ШБИП _____ (Школы базовой инженерной подготовки, отделение иностранных языков):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Наталья Владимировна			

RISK ANALYSIS

Risk identification and analysis

Ensuring that adequate and timely risk identification is performed is the responsibility of the owner, as the owner is the first participant in the project. The sooner risks are identified, the sooner plans can be made to mitigate or manage them. Assigning the risk identification process to a contractor or an individual member of the project staff is rarely successful and may be considered a way to achieve the appearance of risk identification without actually doing it.

It is important, however, that all project management personnel receive specific training in risk management methodology. This training should cover not only risk analysis techniques but also the managerial skills needed to interpret risk assessments. Because the owner may lack the specific expertise and experience to identify all the risks of a project without assistance, it is the responsibility of DOE's project directors to ensure that all significant risks are identified by the integrated project team (IPT). The actual identification of risks may be carried out by the owner's representatives, by contractors, and by internal and external consultants or advisors. The risk identification function should not be left to chance but should be explicitly covered in a number of project documents:

- Statement of work (SOW);
- Work breakdown structure (WBS);
- Budget;
- Schedule;
- Acquisition plan;
- Execution plan.

Methods of risk identification

There are a number of methods in use for risk identification. Comprehensive databases of the events on past projects are very helpful; however, this knowledge frequently lies buried in people's minds, and access to it involves brainstorming sessions by the project team or a significant subset of it. In addition to technical

expertise and experience, personal contacts and group dynamics are keys to successful risk identification.

Project team participation and face-to-face interaction are needed to encourage open communication and trust, which are essential to effective risk identification; without them, team members will be reluctant to raise their risk concerns in an open forum. While smaller, specialized groups can perform risk assessment and risk analysis, effective, ongoing risk identification requires input from the entire project team and from others outside it. Risk identification is one reason early activation of the IPT is essential to project success.

The risk identification process on a project is typically one of brainstorming, and the usual rules of brainstorming apply:

- The full project team should be actively involved;
- Potential risks should be identified by all members of the project team;
- No criticism of any suggestion is permitted;
- Any potential risk identified by anyone should be recorded, regardless of whether other members of the group consider it to be significant;
- All potential risks identified by brainstorming should be documented and followed up by the IPT;

The objective of risk identification is to identify all possible risks, not to eliminate risks from consideration or to develop solutions for mitigating risks—those functions are carried out during the risk assessment and risk mitigation steps. Some of the documentation and materials that should be used in risk identification as they become available include these:

- Sponsor mission, objectives, and strategy; and project goals to achieve this strategy;
- Project justification and cost-effectiveness (project benefits, present worth, rate of return, etc.);
- WBS;
- Project performance specifications and technical specifications;
- Project schedule and milestones;

- Project financing plan;
- Project procurement plan;
- Project execution plan;
- Project benefits projection;
- Project cost estimate;
- Project environmental impact statement;
- Regulations and congressional reports that may affect the project,
- News articles about how the project is viewed by regulators, politicians, and the public;
- Historical safety performance.

The risk identification process needs to be repeated as these sources of information change and new information becomes available.

There are many ways to approach risk identification. Two possible approaches are (1) to identify the root causes of risks—that is, identify the undesirable events or things that can go wrong and then identify the potential impacts on the project of each such event—and (2) to identify all the essential functions that the project must perform or goals that it must reach to be considered successful and then identify all the possible modes by which these functions might fail to perform. Both approaches can work, but the project team may find it easier to identify all the factors that are critical to success, and then work backward to identify the things that can go wrong with each one.

Risk identification should be performed early in the project (starting with preproject planning, even before the preliminary concept is approved) and should continue until the project is completed. Risk identification is not an exact science and therefore should be an ongoing process throughout the project, especially as it enters a new phase and as new personnel and contractors bring different experiences and viewpoints to risk identification. For this reason, the DOE project director should ensure that the project risk management plan provides for periodic updates.

Methods of qualitative risk assessment

The goal of risk identification is not only to avoid omissions but also to avoid the opposite pitfall—of being distracted by factors that are not root causes but only symptoms. Treating the symptoms, rather than the root causes, will give the appearance of activity but will not solve the problem. Unfortunately, identification of symptoms is far easier than identification of root causes. Project owners should ensure that the risk identification process goes beyond the symptoms. While outside, disinterested reviewers can sometimes help perform this function, the following sections describe methods that can be used by project personnel to identify risks and their causes.

Risk screening

Following the initial risk identification phase, the project director should have a working list of risks that have been identified as potentially affecting the project. From this list, the project director should differentiate those that seem minor and do not require further attention from those that require follow-up, qualitative analysis, quantitative analysis, and active mitigation and management. This process requires some qualitative assessment of the magnitude and seriousness of each identified risk. Various methods that have been developed to assess failures in physical equipment and systems have also been applied in one form or another to project risks.

Methods of quantitative risk analysis

After risk factors are assessed qualitatively, it is desirable to quantify those determined by screening activities to be the most significant. It cannot be repeated too often that the purpose of risk assessment is to be better able to mitigate and manage the project risks—not just to compute project risk values. The assessment of risks attributed to elements completely out of project management control—such as force majeure, acts of God, political instability, or actions of competitors—may be necessary to reach an understanding of total project risk, but the risk assessment should be viewed as a step toward identifying active measures to manage all risks, even those considered outside the control of project managers, not to support a passive attitude toward risks as inevitable.

It is often desirable to combine the various identified and characterized risk elements into a single quantitative project risk estimate. Owners may also be interested in knowing the total risk level of their projects, in order to compare different projects and to determine the risks in their project portfolios. This estimate of overall project risk may be used as input for a decision about whether or not to execute a project, as a rational basis for setting a contingency, and to set priorities for risk mitigation.

While probabilistic risk assessment methods are certainly useful in determining contingency amounts to cover various process uncertainties, simple computation methods are often as good as, or even better than, complex methods for the applications discussed here. Owner's representatives should be proficient in simple statistical approaches for computing risk probabilities, in order to be able to check the numbers given to them by consultants and contractors. When addressing probabilistic risk assessment, project directors should keep in mind that the objective is to mitigate and manage project risks and that quantitative risk assessment is only a part of the process to help achieve that objective.

There are many available methods and tools for quantitatively combining and assessing risks. Some of the most frequently used methods are discussed briefly below.

Event trees

Event trees, also known as fault trees or probability trees, are commonly used in reliability studies, probabilistic risk assessments (for example, for nuclear power plants and NASA space probes), and failure modes and effects analyses. The results of the evaluations are the probabilities of various outcomes from given faults or failures. Each event tree shows a particular event at the top and the conditions causing that event, leading to the determination of the likelihood of these events. These methods can be adapted to project cost, schedule, and performance risk assessments.

Project simulations

Project simulations are group enactments or simulations of operations, in which managers and other project participants perform the project activities in a virtual environment before undertaking them on the project. This type of simulation may or may not be supported by computers; the emphasis is not on the computer models but rather on the interactions of the participants and the effects of these interactions on project outcomes. For this reason, project simulations are very good for team building before a project actually starts up. They are not inexpensive, but the cost is generally comparable to the costs of the other techniques cited here, and they can be very cost-effective in the long run, compared to the typical approach of jumping into major projects with little or no preparation of the personnel and their working relationships. Engineering and construction contractors have developed project simulation methods (Halpin and Martinez, 1999), and owners can develop their own or specify that their contractors should perform such simulations before a project starts, in conjunction with the other preproject planning efforts.

Risk mitigation

The ultimate purpose of risk identification and analysis is to prepare for risk mitigation. Mitigation includes reduction of the likelihood that a risk event will occur and/or reduction of the effect of a risk event if it does occur.

Risk mitigation planning

Risk mitigation plans should:

- Characterize the root causes of risks that have been identified and quantified in earlier phases of the risk management process.
- Evaluate risk interactions and common causes.
- Identify alternative mitigation strategies, methods, and tools for each major risk.
- Assess and prioritize mitigation alternatives.
- Select and commit the resources required for specific risk mitigation alternatives.

- Communicate planning results to all project participants for implementation.

Although risk mitigation plans may be developed in detail and executed by contractors, the owner's program and project management should develop standards for a consistent risk mitigation planning process. Owners should have independent, unbiased outside experts review the project's risk mitigation plans before final approval. This should be done prior to completing the project design or allocating funds for construction. Risk mitigation planning should continue beyond the end of the project by capturing data and lessons learned that can benefit future projects.

Risk response and mitigation tools

Some risks, once identified, can readily be eliminated or reduced. However, most risks are much more difficult to mitigate, particularly high-impact, low-probability risks. Therefore, risk mitigation and management need to be long-term efforts by project directors throughout the project.

Risk avoidance

Risk avoidance is the elimination or avoidance of some risk, or class of risks, by changing the parameters of the project. It seeks to reconfigure the project such that the risk in question disappears or is reduced to an acceptable value. The nature of the solution may be engineering, technical, financial, political, or whatever else addresses the cause of the risk. However, care should be taken so that avoiding one known risk does not lead to taking on unknown risks of even greater consequence.

Risk avoidance is an area in which quantitative, even if approximate, risk assessments are needed. For example, the project designers may have chosen solution A over alternative B because the cost of A is estimated to be less than the cost of B on a deterministic, single-point basis. However, quantitative risk analysis might show that A is much riskier than the alternative approach B. The function of quantitative risk assessment is to determine if the predicted reduction in risk by changing from alternative A to alternative B is worth the cost differential.

Risk avoidance is probably underutilized as a strategy for risk mitigation, whereas risk transfer is overutilized—owners are more likely to think first of how

they can pass the risk to someone else rather than how they can restructure the project to avoid the risk. Nevertheless, risk avoidance is a strategy that can be employed by knowledgeable owners to their advantage.

Risk control

Risk control refers to assuming a risk but taking steps to reduce, mitigate, or otherwise manage its impact or likelihood. Risk control can take the form of installing data-gathering or early warning systems that provide information to assess more accurately the impact, likelihood, or timing of a risk. If warning of a risk can be obtained early enough to take action against it, then information gathering may be preferable to more tangible and possibly more expensive actions.

Risk control, like risk avoidance, is not necessarily inexpensive. If the project is about developing a new product, and competition presents a risk, then one solution might be to accelerate the project, even at some considerable cost, to reduce market risk by beating the competition to market; this is a typical strategy in high-technology industries. An example of a risk control method is to monitor technological development on highly technical one-of-a-kind projects. The risk is that the promised scientific development will not occur, requiring use of a less desirable backup technology or cancellation of the project.

Dust explosions

Dust explosions occur when combustible dusts build up in the air and combust rapidly, causing a strong pressure wave to form. They are a deadly hazard in a variety of workplaces, from grain silos to plastics factories. A dust explosion requires several factors to be present at once. These include:

- A combustible dust at the right concentration level
- Oxygen
- An enclosed space
- An ignition source

Sometimes these factors are combined into a graphic known as the “Dust Explosion Pentagon.” The component in this graphic called “dispersion” is also known as concentration. If a concentration of dust is too low, there is not enough of it

present to fuel an explosion. If the concentration is too high, there is not enough oxygen to support combustion.

While some combustible dusts are easy to guess—wood and paper dust, for example—others aren't, such as aluminum dust. Combustible dusts become more dangerous as particulates become finer. These dusts feature a high ratio of surface area to volume, adding to their combustibility. When these dusts combine with oxygen within a range of concentrations, a dust explosion is possible.

In these conditions, all that is needed for an explosion is an ignition source. This source can be anything from a cigarette to a spark to an overheated wheel bearing. Under the right conditions, some combustible dusts can self-ignite as a result of static that builds up as particulates rub against one another. The ignition causes the dust to combust quickly—a process called deflagration that creates a wave of high air pressure. Sometimes this explosion can stir dust that has settled in the space, creating a cloud of new dust—a fuel source for an enormous secondary explosion. A dust explosion can blow out walls in a facility and kill or injure workers within the space or nearby.

Dust risks

What is most amazing is how little those in the chemical process industry (CPI) understand about the risks posed by dusts. While most people understood that certain dusts are an explosion risk — for example, coal dust, grain dust and fertilizer dust — very few understood the broad range of powders and dusts that actually posed a fire and/or explosion danger in the industrial plants. This fact was brought home by the explosion at Imperial Sugar.

How can a powder — a solid, typically non-hazardous material like sugar or plastic — become a fire and explosion (or, more appropriately, a deflagration) risk? This was the question the OSHA inspectors and chemical industry workers were asking. A careful examination of the nature of finely ground materials, and how fires work, is necessary to understand why this risk exists.

We all know that it takes three components to make a fire: a fuel the fire will feed on, a source of oxygen to sustain the fire and an ignition source, such as a spark, flame or heat. But how do these relate to our examination?

When we understand that fire is a chemical process — an oxidation reaction — we more easily can understand how a seemingly non-hazardous material can become a great fire or explosion risk. In fact, most materials can oxidize. A prime example is iron that rusts, or chemically reacts, to form iron oxide. When we place a bar of steel where it is exposed to air, the surface will slowly rust. This process typically takes days, weeks or longer.

However, if we grind that iron bar up into very fine particles, there is significantly more surface area that becomes exposed and this surface will react with the available oxygen at a much more rapid rate. The finer the particles are, the quicker the reaction will proceed. This reaction also releases heat, so if the reaction proceeds at a rapid rate, it will generate heat at a quicker rate, and this heat will cause the gas around the particles to expand.

This rapid heat generation and oxidation of the fine particulate creates a flame front. If that flame front moves at less than the speed of sound it generally is considered to be a deflagration.² When a deflagration occurs in an enclosed space, an increase in pressure results when the expansion of the internal gases caused by the heat generated is restricted by the enclosure walls. This creates an explosion, where the expanding pressure wave can cause damage to the enclosure.

If the flame and pressure wave moves faster than the speed of sound, the “explosion” is classified as a detonation.² Detonations generally are associated with high explosives and, in general, cannot be controlled with pressure relief vents of any type.

This same mechanism will occur with any material that can oxidize with the release of heat (called an exothermic reaction). Therefore, most organic chemicals, plastics, foods, metals, carbon compounds, pharmaceuticals and chemical intermediates can present a risk when they are in the form of very fine powders. The

finer the powder, the greater the risk. In contrast, materials that require the addition of heat to oxidize (endothermic reactions) will not spontaneously ignite or explode.

Dust hazard reduction

Once we understand how and why dusts can become fire and explosion risks we can determine how best to bring industrial facilities into compliance with OSHA's NEP and the eventual combustible dust standard. While it may not be possible to eliminate all dust, the primary goal must be the elimination of major, or catastrophic, explosions inside the facility.

To accomplish this, the first task is to reduce or eliminate accumulations of combustible dusts from exposed and hidden surfaces inside the plant. It is a fact that most catastrophic explosions — those that create the greatest devastation and loss of life within the plant — are secondary explosions caused when the shock or pressure wave from a smaller, primary explosion causes accumulated dust on horizontal surfaces to become airborne, where it is ignited by the primary ignition source. As this accumulated dust can extend for great distances away from the initial ignition source, the small fire or explosion rapidly can expand and cause millions of dollars in damages and the risk of severe injury or death.

The National Fire Protection Association (NFPA) has determined that dust accumulations of as little as 1/32nd inch (approximately the same thickness as an average paper clip) are sufficient to create a dust deflagration when dispersed and exposed to an ignition source.³ The removal of accumulated hazardous materials is the primary emphasis of OSHA's NEP plan and is the focus of OSHA's inspections.⁴

There are three essential components to the reduction of hazardous dust accumulations. These are identification of problem areas, identification of problem dusts and elimination of dust hazards. Within all industrial facilities where powdered materials either are handled or generated, some dust escapes from the processing and conveying equipment. This dust naturally settles on horizontal surfaces in close proximity to the dust source. These surfaces may be on top of the equipment itself, on stairs, railings, support steel, light fixtures, etc.

Over time, the accumulation of dust may become extensive. Those surfaces that are highly visible often are cleaned on a periodic basis and may present a very minimal hazard. However, “hidden” surfaces generally are overlooked. These include support steel, roof support members and trusses, equipment surfaces above eye level, light fixtures and elevated ductwork, piping or cable trays.

These problem areas are the areas that will draw the attention of OSHA inspectors and are the areas that safety professionals should concentrate on cleaning. The watchword in reducing the risk of dust explosions is housekeeping: cleaning up dust accumulation in all areas, visible or hidden.

The second aspect of reducing the dust explosion risk is to identify the hazardous nature of the accumulated dusts. Not all dusts present a fire or explosion risk. While it is preferred that all accumulated dusts be cleaned up for safety reasons, the emphasis here is to concentrate on those dusts that present a real fire or explosion risk.

Conduct an inventory of all the powdered materials within the facility and review material safety data sheets (MSDS) to determine if a risk already has been identified. In the event the MSDS is incomplete or if no MSDS exists for the powder under review, physical hazard testing may need to be conducted.

Eliminating the problems involves the general housekeeping chores discussed above, but goes beyond that to address the sources of the primary dust and ignition sources. This involves a review of the process and process equipment to minimize any openings where dust can escape and to eliminate sources of heat, sparks, combustion, etc. wherever possible.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Число Рэлея:

$$Ra = \frac{g}{\nu a} D^3 \frac{RT_0}{E} \quad (1)$$

где

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

ν - кинематическая вязкость воздуха при температуре T_0 , м²/с;

a - температуропроводность воздуха при температуре T_0 , м²/с;

D - высота образца, м;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль × К);

T_0 - температура рабочего пространства термостата, К;

E - энергия активации реакции окисления. В первом приближении допускается принимать равной 100 кДж/моль.

Для облегчения расчетов зависимость комплекса $g/\nu a$ от температуры в диапазоне $T_0=(350-800)$ К может быть рассчитана по формуле

$$\frac{g}{\nu a} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_0}} \quad (2)$$

Для всех размеров образцов вычислить коэффициенты теплоотдачи α по уравнениям:

при $5 \times 10^2 < Ra < 2 \times 10^7$

$$\alpha = 0,54Ra^{0,25} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_0^3 \quad (3)$$

при $Ra > 2 \times 10^7$

$$\alpha = 0,135Ra^{0,333} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_0^3 \quad (4)$$

где

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м² × К⁴).

Зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры может быть определена по формуле

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_0 \quad (5)$$

По величине α , коэффициенту теплопроводности материала λ и половине высоты $r=D/2$ вычисляют критерии Bi для каждого образца:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda} \quad (6)$$

Функцию $\varphi(Bi)$, учитывающую интенсивность теплообмена образца с воздухом, определяют по уравнению

$$\varphi(Bi) = \frac{Bi}{2} \left(\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi \right) \exp \frac{\sqrt{Bi^2 + 4} - Bi - 2}{Bi} \quad (7)$$

Рассчитывают параметры β и γ , характеризующие индивидуальные свойства реакции окисления:

$$\beta = \frac{RT_0}{E} \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{cRT_0^2}{QE} \quad (9)$$

где

c - теплоемкость материала, Дж/(кг × К),

Q - теплота реакции окисления, Дж/кг.

С учетом интенсивности теплообмена и особенностей реакции для каждого размера образца материала рассчитывают критическое значение параметра Франк-Каменецкого:

$$\delta_{кр} = \delta_{0\varphi}(Bi)(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) \quad (10)$$

где

δ_0 - критическая величина параметра δ при интенсивном теплообмене, равная 2,52 для образцов кубической формы и 2,76 для цилиндра с высотой, равной диаметру.

Результаты вычислений по формулам (1)-(10) сводят в таблицу.

Размер r , м	T_0 , К	Ra	α , Вт/(м ² · К)	Bi	$\varphi(\text{Bi})$	β	γ	$\delta_{кр}$

Зависимость критического значения параметра Франк-Каменецкого $\delta_{кр}$ от кинетических параметров реакции окисления

$$\delta_{кр} = \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_0^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_0}} \quad (11)$$

записывают в виде

$$M = Ne^{-\frac{E}{RT_0}} \quad (12)$$

где

$$M = \frac{\delta_{кр} RT_0^2}{r^2 \rho} \quad (13)$$

$$N = \frac{EQk_0}{\lambda} \quad (14)$$

ρ - плотность упаковки материала, кг/м³;

k_0 - константа скорости реакции, 1/с.

По уравнению (13) для каждого размера образца рассчитывают величину M . С учетом значений M и N по уравнению (12) методом наименьших квадратов или программ обработки экспериментальных данных для персональных компьютеров Eureka, Curve Expert 1.3, Mathematica 3.0, Mathematica 4.0 и других определяют численные значения N и энергию активации E .

Вычисляют предэкспоненциальный множитель реакции окисления Qk_0/λ путем деления N на E . Данные расчетов по уравнениям (12)-(14).

Рассчитать параметр $\delta_{кр}$ по формуле:

$$\delta_{кр} = \delta_0(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) \quad (15)$$

В первом приближении минимальный размер найти из выражения

$$r = \sqrt{\frac{\lambda RT_0^2 \delta_{кр} e^{\frac{E}{RT_0}}}{EQk_0 \rho}} \quad (16)$$

$$\Delta = \frac{\delta}{\delta_{кр}} \quad (17)$$

и функции

$$f_1(\Delta, \gamma) = 1 + 0,62 \frac{1 - 4 \cdot \Delta^2 \sqrt{\gamma}}{(\Delta - 0,95)^{0,9}} \quad (18)$$

$$f_2(j, Bi, \Delta) = 1 - \frac{[1 + 1,5(1 - 0,1 \cdot \Delta)j]Bi}{16(1 + Bi)} \quad (19)$$

Рассчитать безразмерное время индукции с помощью уравнений (17)-(19) по выражению

$$\tau = f_1(\Delta, \gamma) f_2(j, Bi, \Delta) (1 + 2\beta) \quad (20)$$

Определить размерное время индукции t_{II} по формуле

$$t_{II} = \frac{\tau c RT_0^2}{Qk_0 E} e^{\frac{Ee}{RT_0}} \quad (21)$$

Вычислить относительное удаление от предела воспламенения

Принимая в первом приближении величину критерия $Bi=4$ и температуру нагретой поверхности оборудования $T_{Г}$ на 200 К больше заданной температуры T_0 , вычислить среднюю (между температурами холодной поверхности и газового пространства) температуру T_{cp} по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_{Г} - T_0}{2(2Bi + 1)} + T_0 \quad (22)$$

Рассчитать комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха по уравнениям:

$$\frac{g}{av} = 1,2 \cdot 10^8 e^{\frac{1770}{T_{cp}}} \quad (23)$$

$$\lambda_B = 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} \quad (24)$$

По найденным выше значениям определить другую величину критерия Bi по выражению

$$Bi = \left(C^4 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0)}{\nu a T_0 (2Bi + 1)}} \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3 \right) \frac{h}{2\lambda} \quad (25)$$

где

C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз, и 0,54 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вверх.

Значение Bi подставить в формулу (22) и по выражениям (23)-(25) найти новое значение критерия Bi . Процесс итераций продолжать до тех пор, пока последняя и предыдущая величины не будут отличаться друг от друга менее чем на 10%.

Вычислить безразмерный температурный перепад

$$\theta_0 = \frac{E}{RT_r^2} (T_r - T_0) \quad (26)$$

параметры

$$a = 1 + 2,28e^{-0,65\theta_0} \quad (29)$$

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi}{1 + 2Bi} \right)^2 \left\{ \theta_0 + 2 \ln \left[2(a + \sqrt{a(a-1)}) \right] \right\}^2 \quad (28)$$

Для температуры T_r определить параметры

$$\beta = \frac{RT_r}{E}$$

$$\gamma = \frac{cRT_r^2}{QE}$$

и вычислить критическую величину δ по формуле

$$\delta_{кр} = \delta(1 + \beta)(1 + 2,4\gamma^{2/3}) \quad (29)$$

Принимая в первом приближении величину критерия B_i на холодной стенке слоя $Bi_x=4$ и температуру среды внутри трубопровода T_r на 200 К более T_0 , вычислить среднюю (между температурами холодной и горячей поверхностей слоя отложений) температуру T_{cp} по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_r - T_0}{2(2Bi_x + 1)} + T_0 \quad (30)$$

Рассчитать комплекс g/av и коэффициент теплопроводности воздуха по уравнениям (23) и (24).

По найденным выше значениям определить другую величину критерия B_i на холодной стенке:

$$Bi_x = \left(0,544 \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0) \lambda_B}{\nu a T_0 (2Bi_x + 1) h} + 4\sigma T_0^3} \right) \frac{h}{2\lambda} \quad (31)$$

Значение Bi подставить в формулу (30) и по выражениям (23), (24), (31) найти новое значение критерия B_i . Процесс итераций продолжать до тех пор, пока последняя и предыдущая величины не будут отличаться друг от друга менее чем на 10%.

Определить значение кинематической вязкости воздуха по выражению

$$\nu = 7,87 \cdot 10^{-11} T_{cp}^2 + 5,01 \cdot 10^{-8} T_{cp} - 6,4 \cdot 10^{-6} \quad (32)$$

Вычислить величину критерия B_i на горячей стенке слоя по выражению

$$Bi_r = \left(0,018 \left(\frac{VD}{\nu} \right)^{0,8} \frac{\lambda_B}{D} + 4\sigma T_r^3 \right) \frac{h}{2\lambda} \quad (33)$$

Рассчитать безразмерный температурный перепад и параметр a по выражениям (26), (27).

Определить параметр δ по формуле

$$\delta = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi_r Bi_x}{2Bi_r Bi_x + Bi_r + Bi_x} \right)^2 \times \left\{ \theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right\}^2 \quad (34)$$

Для температуры T_r определить параметры p и y ; рассчитать критическую величину δ по формуле (15).

Подставить величину $\delta_{кр}$ в выражение

$$h = 2 \sqrt{\frac{\lambda R T_0^2 \delta_{кр} e^{\frac{E}{RT_0}}}{E Q k_0 \rho}} \quad (35)$$

Принять в первом приближении величину критерия B_i на холодной стенке $Bi_x=2$, значение критерия B_i на горячей стенке $Bi_r=4$, температуру среды в технологическом оборудовании T_r на 200 К больше T_0 . Вычислить среднюю (между температурами холодной поверхности и прилегающего газового пространства) температуру по формуле

$$T_{cp_x} = \frac{T_r - T_0}{2} b_x + T_0 \quad (36)$$

где

$$b_x = \frac{Bi_r}{2Bi_x Bi_r + Bi_x + Bi_r}.$$

По найденным выше значениям определить другую величину критерия B_i на холодной стенке по уравнению

$$Bi_x = \left(C \sqrt{\frac{g h^3 (T_r - T_0)}{va T_0}} b_x \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_0^3 \right) \frac{h}{2\lambda} \quad (37)$$

где

C - коэффициент, равный 0,27 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вниз, и 0,54 для горизонтальной пластины, обращенной горячей стороной вверх.

температурами горячей поверхности и прилегающего газового пространства) температуру по формуле

С учетом последних значений критерия B_i вычислить среднюю температуру

$$T_{\varphi_r} = \frac{1}{2}(T_r(2-b_r)+T_0b_r) \quad (38)$$

где

$$b_r = \frac{Bi_x}{2Bi_xBi_r + Bi_x + Bi_r}.$$

По найденным выше значениям определить другую величину критерия B_i на горячей стенке по выражению

$$Bi_r = \left(C_4 \sqrt{\frac{g}{va} \frac{h^3}{T_r} (T_r - T_0)} b_r \frac{\lambda_B}{h} + 4\sigma T_r^3 \right) \frac{h}{2\lambda} \quad (39)$$