

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Интенсификация процессов при плазменной обработке диспергированных водно-солеорганических композиций

УДК 621.7.048.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Алюков Евгений Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ТФ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Е.В. Меньшикова	к.филос.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТФ ФТИ	И.В. Шаманин	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
 Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ТФ ФТИ
 _____ И.В. Шаманин
 «__» _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0АЗД	Алюкову Евгению Сергеевичу

Тема работы:

Интенсификация процессов при плазменной обработке диспергированных водно-солеорганических композиций	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	13.02.2017 №769/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать влияние начальных параметров воздушно-плазменного потока и капель диспергированных водно-солеорганических композиций на интенсификацию процессов при их плазменной обработке.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Обзор и анализ физических методов интенсификации тепло- и массообменных процессов 2. Выбор математической модели процесса механического диспергирования жидкости 3. Расчет и оптимизация процесса механического диспергирования водно-солеорганических композиций 4. Экспериментальное подтверждение выбранных режимов диспергирования ВСОК 5. Экономическое обоснование проведения НИР 6. Выводы по работе. Заключение

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е.В. Меньшикова
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Е.С. Алюков		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Алюкову Евгению Сергеевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость расходных материалов 2.Стоимость расхода электроэнергии 3.Норматив заработной платы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1.Тариф на электроэнергию 2.Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%) 2.Расчет дополнительной заработной платы (13%)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Потенциальные потребители результатов исследования; 2.Анализ конкурентных технических решений; 3.SWOT – анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Структура работ в рамках научного исследования; 2.Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3.Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1.Определение интегрального финансового показателя разработки; 2.Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3.Определение интегрального показателя эффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Е.В. Меньшикова	Доцент, к.филос.наук.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Е.С. Алюков		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Алюкову Евгению Сергеевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация, вредные вещества; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – вредные вещества; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ и ВЧФ-плазматроном.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой; – размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Е.С. Алюков		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
P3	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок.
P4	Готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Реферат.....	11
Введение.....	12
Определения.....	14
Сокращения и обозначения.....	15
1. Обзор литературы.....	16
1.1 Физические методы интенсификации процессов.....	16
1.1.1. Акустические методы.....	16
1.1.2. Электромагнитные методы.....	21
1.1.3. Оптические и радиационные методы.....	23
1.2 Интенсификация тепло- и массообменных процессов.....	26
1.2.1. Интенсификация теплообменных процессов.....	27
1.2.2. Интенсификация массообменных процессов.....	28
1.2.3. Интенсификация механических и гидромеханических процессов (диспергирование).....	29
2. Расчет и аналитика	42
2.1. Математическая модель процесса механического диспергирования вязкой жидкости	42
2.2. Расчет и оптимизация процесса механического диспергирования водно-солеорганических композиций.....	49
2.3. Результаты расчета и их обсуждение.....	54
3. Экспериментальная часть.....	55
3.1. Описание экспериментальной установки.....	55
3.2. Методика проведения эксперимента.....	56
3.3. Результаты экспериментов и их обсуждение.....	60
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	61

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	62
4.1.3. SWOT-анализ.....	63
4.2. Планирование научно-исследовательской работы.....	68
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	68
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения НИР.....	69
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	70
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	72
4.3.1. Расчет материальных затрат.....	72
4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы.....	74
4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	76
4.3.4. Накладные расходы.....	76
4.3.5. Контрагентные расходы.....	77
4.3.6. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	77
4.3.7. Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	78
4.3.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	78
4.4. Определение ресурсоэффективности исследования.....	79
5. Социальная ответственность.....	80
5.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	81
5.2. Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ.....	83
5.2.1. Организационные мероприятия.....	83
5.2.2. Технические мероприятия.....	84
5.2.3. Условия безопасности работы.....	86

5.3. Электробезопасность.....	89
5.4. Пожарная и взрывная безопасность.....	93
Выводы.....	95
Список литературы.....	96

Реферат

Выпускная квалификационная работа 98 страниц, 24 рис., 18 табл., 46 источников, 59 формул.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, жидкие радиоактивные отходы, водно-солеорганические композиции, обработка, интенсификация, диспергирование.

Объектом исследования является процесс при плазменной обработке диспергированных водно-солеорганических композиций.

Цель работы – исследовать влияние начальных параметров воздушно-плазменного потока и капель диспергированных водно-солеорганических композиций на интенсификацию процессов при их плазменной обработке.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведен обзор и анализ физических методов интенсификации тепло- и массообменных процессов
2. Выбор математической модели процесса механического диспергирования жидкостей
3. Расчет и оптимизация процесса механического диспергирования ВСОК. Выбор оптимальных режимов диспергирования ВСОК
4. Экспериментальное подтверждение выбранных режимов диспергирования ВСОК

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на USB – накопителе.

Введение

Актуальность исследования

Только в России накоплены сотни миллионов тонн промышленных отходов. Применяемые технологии не решают проблемы их утилизации. На кафедре 23 ФТИ на протяжении ряда лет ведутся исследования по обработке промышленных отходов в воздушной неравновесной плазме высокочастотного факельного разряда. Разработаны плазменные установки для переработки таких отходов. Дальнейшее повышение эффективности работы этих установок может быть достигнуто только путем интенсификации процессов плазменной обработки этих отходов.

Интенсификация многочисленных процессов, проводимых в гетерогенных системах, в частности, при контактировании газа и жидкости, позволяет увеличить производительность установок (аппаратов) при уменьшении их габаритных размеров, стоимости, металлоемкости и соответствующем уменьшении необходимых производственных площадей и сокращении расходов, необходимых для эксплуатации оборудования.

Интенсификация в промышленной сфере связана в первую очередь с решением многоплановой комплексной научно-технической проблемы на принципиально новой основе.

Использование различных физических воздействий позволяет в значительной мере интенсифицировать процесс плазменной обработки диспергированных водно-солеорганических композиций и в большинстве случаев получить результаты, не достижимые при традиционной технологии.

Известно значительное количество традиционных и сравнительно новых способов интенсификации технологических процессов, протекающих, в частности, в газожидкостных системах. Их строгая классификация затруднена, однако, условно методы интенсификации можно разбить на два класса: комплексные, при которых к установке подходят как единому целому, и декомпозиционные методы, при которых выявляют и

интенсифицируют отдельные лимитирующие стадии процесса или элементы его аппаратного оформления. Ввиду сложности процессов, протекающих в гетерогенных системах, предпочтительным методом их интенсификации является декомпозиционный.

Под интенсивностью i любого технологического аппарата понимают отношение одной из целевых количественных характеристик Q (например, производительности или количества перенесенного тепла) к основной, чаще всего геометрической характеристике (V, F) рассматриваемого объекта (например, объему рабочей зоны) [1]. Для химического реактора интенсивностью является количество продукции, получаемое в единицу времени и отнесенное к объему аппарата, для теплообменного аппарата – количество тепла, переданное в единицу времени через 1 м^2 поверхности теплообмена, для массообменного аппарата – масса вещества перенесенная единицей объема аппарата в единицу времени и т.д.

Таким образом, интенсивность – это величина количественная, размерная. Тогда процесс интенсификации можно рассматривать как деятельность, направленную на повышение показателя интенсивности технологического оборудования [1].

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов). Важнейшей особенностью плазмы является ее квазинейтральность, это означает, что объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых она образована, оказываются практически одинаковыми.

ВЧФ-плазмотрон – устройство для генерирования потоков неравновесной плазмы.

Утилизация – использование ресурсов, не находящих прямого применения, вторичных ресурсов, отходов производства и потребления.

Интенсификация – деятельность, направленная на повышение интенсивности используемого технологического оборудования.

Диспергирование – тонкое измельчение твёрдых тел или жидкостей, в результате чего получают порошки, суспензии, эмульсии.

$T_{всп}$ – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

$T_{воспл}$ – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

$T_{самовоспл}$ – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Сокращения и обозначения

РАО – радиоактивные отходы;

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы;

ТРО – твердые радиоактивные отходы;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

ГОП ОЯТ – горючие отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

ПАВ- поверхностные активные вещества;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд;

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТЦ – открытый ядерный топливный цикл;

ЗЯТЦ – закрытый ядерный топливный цикл;

АЭС – атомная электростанция;

АХМР – аммиачно-хлоридные маточные растворы;

ВСОК – водно-солеорганические композиции.

Обзор литературы

1.1 Физические методы интенсификации химических процессов

1.1.1 Акустические методы

Акустические методы интенсификации включают динамические воздействия на системы в виде упругих (квазиупругих) колебаний и волн. Можно выделить два типа колебаний: низкочастотные и высокочастотные колебания [2]. Частотный порог слышимости человеческого уха (15–16 кГц) может выступать в качестве условной границы диапазонов. Колебания, частота которых ниже этого условного порога относят к звуковым и инфразвуковым (< 1 Гц), а выше – к ультразвуковым и гиперзвуковым ($> 10^9$ Гц).

В технике часто вместо термина «колебания» используют термин «вибрация» при описании колебаний в твердых телах и «пульсации» при колебаниях в жидкостях и газах. Аппаратуру, реализующую эти колебания аналогично делят на вибрационную и пульсационную [3].

Акустическое взаимодействие может иметь модуляцию по частоте, амплитуде, длительности и фазе. Воздействие может быть не только детерминированным, но и носить случайный характер [4].

Увеличение амплитуды и уменьшение длительности воздействия могут вызвать появление ударных волн.

Низкочастотные колебания. Характерным признаком низкочастотного акустического воздействия можно назвать синфазность колебаний отдельных элементов системы.

Рассмотрим линейную систему с одной степенью свободы. На нее действует сила, зависящая от времени. В такой системе будут возбуждаться вынужденные колебания. При гармонической силе в такой системе колебания также будут гармоническими, что можно представить уравнением в комплексной форме:

$$\dot{v}_m [R_M + j(\omega m - \frac{1}{\omega C_M})] = \dot{F}_m,$$

где $\dot{v}_m = v_m e^{j\alpha_v}$ - комплексная амплитуда скорости; $\dot{F}_m = F_m e^{j\alpha_F}$ - комплексная амплитуда силы; R_M - механическое сопротивление; m - масса, ω - круговая частота; j - мнимая единица; α_v и α_F - соответственно фазы скорости и силы; C_M - механическая упругость системы.

Тогда комплексная амплитуда скорости равна

$$\dot{v}_m = \frac{\dot{F}_m}{\underline{Z}},$$

где $\underline{Z} = R_M + j(\omega m - \frac{1}{\omega C_M}) = Z e^{j\phi}$ - есть комплексное сопротивление;

$$Z = [R_M^2 + (\omega m - \frac{1}{\omega C_M})^2]^{0.5} - \text{его модуль.}$$

Сдвиг фаз между скоростью и силой равен

$$\varphi = \alpha_F - \alpha_v = \frac{\arctg(\omega m - \frac{1}{\omega C_M})}{R_M}.$$

Средняя мощность

$$P_{cp} = \frac{F_m^2}{2Z} \cos \varphi.$$

При $\varphi \rightarrow 0$, т.е. при $\omega m = \frac{1}{\omega C_M}$ или при $\omega = (m C_M)^{-0.5}$ наступает резонанс скорости, и вся передаваемая системе энергия диссипирует в ней ($\cos \varphi = 1$).

Технологические устройства, преобразующие различные виды энергии в колебательную возбуждают механические колебания. По способу возбуждения колебаний различают вибровозбудители механические, электромагнитные, электродинамические, электрогидравлические и др. (рис. 1.1) [5,6].

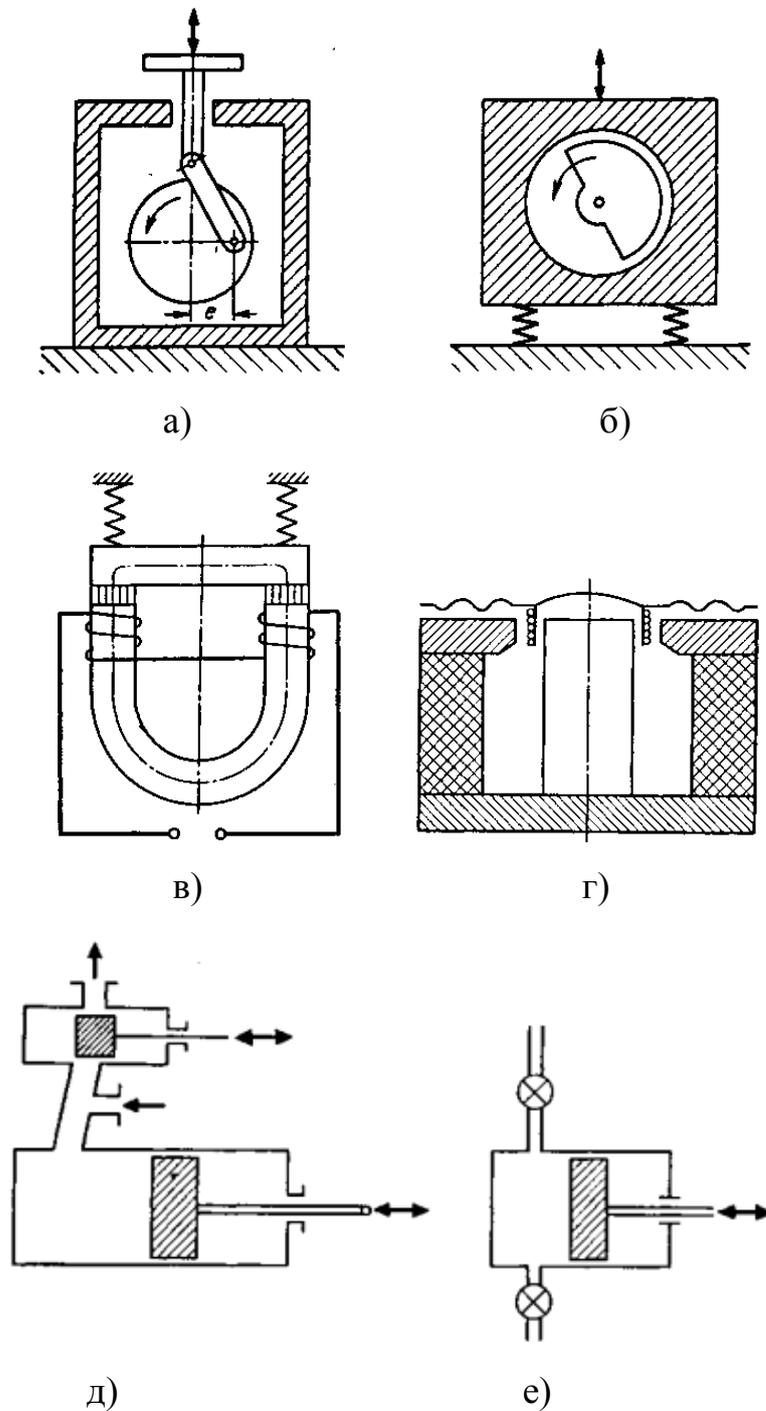


Рис. 1.1. Вибровозбудители: а) эксцентриковый, б) дебалансный, в) электромагнитный, г) электродинамический, д) электрогидравлический, е) пневматический

Звук и ультразвук. Для создания звукового и ультразвукового колебания применяются различные преобразователи: пьезоэлектрические,

гидродинамические, электродинамические и наиболее распространенные магнестрикционные [7,8].

Передача ультразвуковых колебаний от источника (преобразователя) к обрабатываемому веществу осуществляется при помощи согласующих устройств, в качестве которых могут выступать концентраторы, пластины и т.д. [9-11]. На рисунке 1.2 показан общий вид магнестрикционного преобразователя.

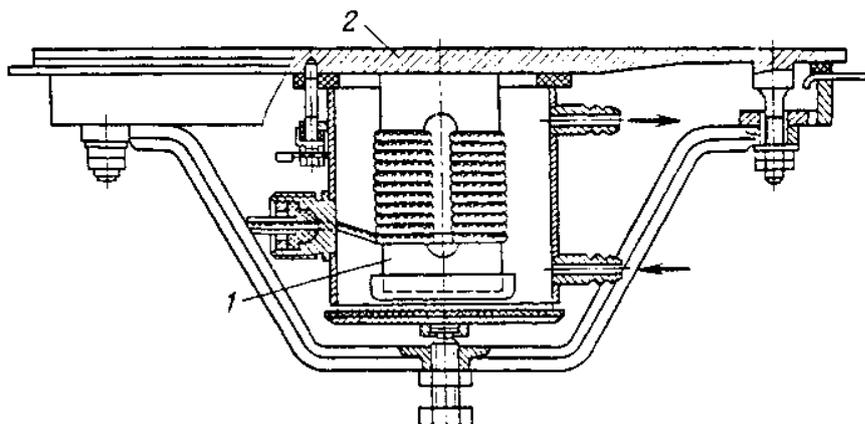


Рис. 1.2 – Магнестрикционный ультразвуковой преобразователь: 1 – пакет магнестриктора, 2 – излучающая пластина

Плоский излучатель, размеры которого не малы, по сравнению с длиной волны, излучает волны в полупространство. В поршневом режиме, когда все точки излучающей поверхности колеблются синфазно с одинаковой амплитудой, амплитуда звукового давления на расстоянии r от излучающей поверхности S равна

$$p_m = \frac{\rho c v_m S}{\lambda r},$$

а интенсивность

$$I = \frac{Pa}{4\pi r^2} \cdot \frac{4\pi r c S^2}{\lambda^2 R_s},$$

где второй множитель представляет собой коэффициент концентрации или направленности энергии [12].

Удар и ударные волны. Ударом называют кратковременное механическое воздействие, при котором сила, давление, скорость и другие

физические величины приобретают конечные скачкообразные изменения [13]. Часто в различных конкретных задачах используют родственные термины: ударное нагружение, соударение, столкновение толчок и т.д. Наиболее характерной особенностью удара является импульсный (нестационарный) характер подвода энергии.

Характерным признаком ударного или импульсного акустического воздействия выступает локализация энергии в технологическом объекте. Как правило, импульсная система запасает от источников энергию на некотором интервале времени t_3 , а отдает ее за короткое время импульса Δt_u , причем $\Delta t_u \ll t_3$. Характерные длительности импульсов составляют $10^{-3} - 10^{-6}$ с, поэтому при сравнении малой энергии в десятки джоулей мощность в импульсе составляет мегаватты, что и обуславливает высокую эффективность импульсной технологии.

Время реакции, которое вызвано акустическим импульсом, определяет, будет ли импульс одиночным или приобретет периодическую последовательность [14].

Ударные воздействия в технологии могут реализовываться следующими путями. При соблюдении определенных режимов в технологических аппаратах движение твердых частиц, пузырьков, капель, струй и подвижных конструктивных элементов могут носить ударный характер. Использование таких режимов является интенсифицирующим фактором. Другим способом является генерирование ударных (импульсных) воздействий специальными устройствами, в качестве которых могут служить механические и другие вибровозбудители. Разнообразные виброударные свойства нашли широкое применение в строительстве, машиностроении, геофизике [15]. В химической технологии подобные устройства почти не используются за исключением механических процессов (дробление), тогда как целесообразным является их применение и для интенсификации процессов других классов.

Высокочастотные (ВЧ) разряды обладают специфическими свойствами. Выявление и целенаправленное использование этих свойств может привести к значительным положительным эффектам. В настоящее время многие свойства ВЧ-разрядов изучены, а некоторые реализованы в конкретных конструкциях.

1.1.2 Электромагнитные методы

В данных методах фактором, непосредственно влияющим на интенсификацию технологического процесса, является энергия электромагнитного поля. Классификацию электромагнитных методов можно провести по различным характеристикам поля: временным, частотным, силовым и т.д.

Электро- и магнитостатические поля. В качестве источников электростатических полей рассматриваются проводники и диэлектрики, несущие электрический заряд и имеющие различную геометрическую форму. В качестве источника магнитных полей рассматриваются намагниченные тела и проводники с токами, например, соленоиды.

Постоянный ток. Токи промышленной и высокой частоты. Воздействие в виде постоянного электрического тока возникает при наложении электрического поля источников постоянного напряжения (тока) на проводящие среды.

Протекая через электролит, электрический ток вызывает его электролиз, в процессе которого химические реакции поддерживаются электрической энергией от источника тока.

Постоянный электрический ток используется для интенсификации как процессов синтеза [16], так и процессов разложения различных веществ. При этом необходимо соблюдать ряд условий, например, разложение воды начинается при напряжении 1,2 В, но из-за наличия перенапряжения и сопротивления рабочее напряжение между двумя электродами поддерживают около 2 В.

Электрический ток, действующий на проводящие среды, вызывает их нагрев в соответствии с законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где I – сила тока, R – сопротивление, t – время.

В электротермических установках достигаются температуры, обуславливающие разнообразные химические и физические превращения [13-17].

Воздействие токами высоких частот (0,15-300 МГц) связано с возбуждением внешним электромагнитным полем в веществах, в зависимости от их свойств, токов проводимости и токов смещения в диэлектриках. Протекание этих токов вызывает индукционный и соответственно диэлектрический нагрев материалов [17]. Существенный вклад в теорию и практику индукционного и диэлектрического нагрева внесли советские ученые В.П. Вологдин, Г.И. Бабат, А.В. Нетушил, А.В. Донской и др.

Электромагнитное поле сверхвысоких частот. К сверхвысокими частотам (СВЧ) относятся электромагнитные волны с частотами колебаний выше 300 МГц. Длина электромагнитной волны λ соотносится с частотой f и скоростью распространения волны c выражением $\lambda = c/f$. Следовательно, нижняя граница СВЧ диапазона в свободном пространстве ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с) соответствует метровым волнам, а верхняя примыкает к длинноволновым инфракрасным лучам.

Эффекты, определяющие интенсификацию технологических процессов, связанные с воздействием электромагнитных волн СВЧ диапазона на обрабатываемое вещество, можно разделить на тепловые и нетепловые [18].

К тепловым относится нагрев, который происходит за счет поглощения электромагнитных волн, к нетепловым – эффекты насыщения диэлектрика, ориентация коллоидных частиц, резонанс макромолекул [19].

1.1.3 Оптические и радиационные методы

Воздействие электромагнитными волнами длиной менее 10^{-2} м и потоками частиц высоких энергий относят к оптическим и радиационным методам.

В указанном диапазоне световое излучение характеризуется не только волновыми свойствами (дифракция, интерференция, поляризация и др.), но и квантовыми или корпускулярными (фотоэффект, излучение и поглощение атомов).

Отличительной особенностью излучения электромагнитных волн от других видов излучения является когерентность. К когерентным излучениям относятся излучения, создаваемые лазерами. К некогерентному излучению относятся тепловое излучение нагретых тел и плазмы.

К радиационному воздействию относятся как электромагнитное, так и корпускулярное излучение. Источниками радиационного воздействия являются специальные ускорители частиц и радиоактивные изотопы.

Некогерентное оптическое излучение. Все нагретые тела испускают излучение, называемое тепловым или температурным. Это излучение носит некогерентный характер. Мощность излучения $d\Phi$ с элементарной площадкой ΔS в телесном угле $d\Omega$, составляющим угол ν с направлением нормали к площадке, равна

$$d\Phi = J\Delta S \cos \nu d\Omega,$$

где J – энергетическая яркость (удельная интенсивность излучения).

Тела в любом агрегатном состоянии способны испускать люминесцентное излучение, возникающее в результате воздействия света, тока, а также в процессе химических реакций [20].

Все источники некогерентного излучения можно разделить на несколько групп: источники теплового излучения, источники электролюминесцентного излучения, источники смешанного излучения [21,22].

Тепловые излучатели имеют, несмотря на многие достоинства, один существенный недостаток: их КПД не может превысить 14 % от максимальной теоретической величины, поэтому часто указанный недостаток преодолевается использованием газоразрядных излучателей (газоразрядные лампы) [23,24].

Когерентные излучения. В когерентной электромагнитной волне амплитуда, фаза, частота и другие характеристики являются постоянными или изменяются по закону. Строго монохроматическая волна всегда когерентна. Когерентность немонохроматических волн объясняется одним и тем же набором частот и постоянной разностью фаз.

Наглядным примером источника когерентного излучения является лазер. Его действие основано на энергетических переходах в квантовой системе [25].

В зависимости от используемого рабочего тела (активной среды) различают лазеры твердотельные, жидкостные, газовые. По временному режиму работы лазеры могут быть импульсными, непрерывными и импульсно-периодическими.

Схема импульсного рубинового лазера изображена на рис. 1.3. В состав лазера входит рубиновый стержень 1, импульсная лампа 2, электрод 3, полупрозрачный отражающий слой 4 и 6, источники питания 5 и 7.

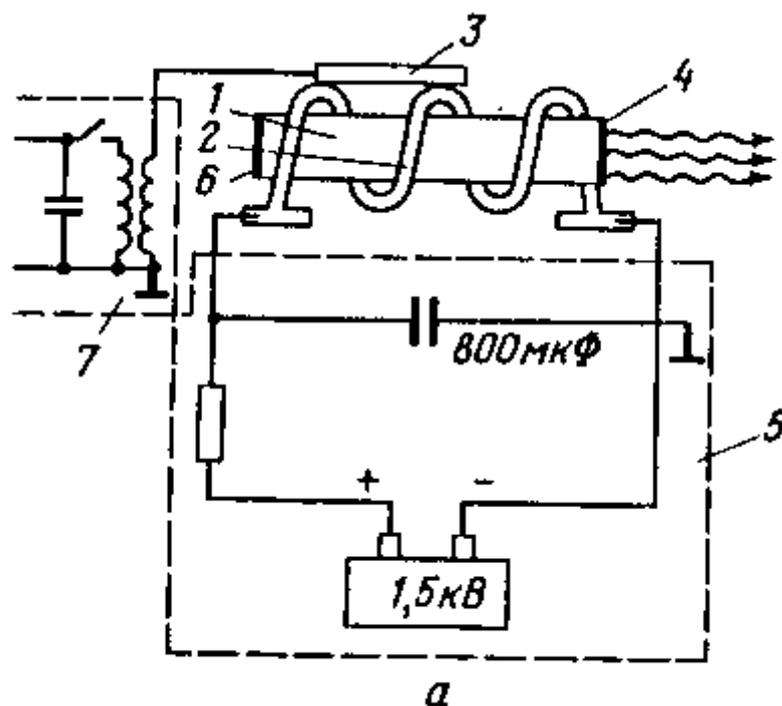


Рис. 1.3 – Импульсный рубиновый лазер

Ионизирующие излучения. Примерами ионизирующего излучения могут выступать потоки рентгеновских и гамма-лучей, а также потоки электронов, нуклонов, дейтронов, альфа-частиц и т.д [26].

Одним из источников ионизирующего излучения являются ядерные превращения и реакции (альфа-распад, захват нейтронов, деление и др.). Для направленного использования энергии, выделяющейся в процессе ядерных реакций, в технологических целях применяют радиационно-химические установки с короткоживущими источниками гамма-излучения.

Характер взаимодействия ионизирующего излучения с веществом определяется параметрами частиц и свойствами вещества. Весь радиационный процесс можно разделить на две стадии: первую, на которой поглощенная энергия перераспределяется между вторично заряженными частицами, которые, взаимодействуя с электронами атомов приводят к возбуждению и ионизации молекул вещества и вторую, на которой образовавшиеся под действием излучения осколки молекул реагируют между собой и с другими молекулами. В результате таких процессов

происходит образование новых частиц (свободных радикалов, вторичных ионов) [27].

1.2 Интенсификация тепло- и массообменных процессов

Примерами тепломассообменных процессов являются кристаллизация, сорбция, сушка, экстракция и другие процессы, при которых происходит обмен теплотой и массой. Такие процессы очень распространены в химической технологии и являются энергоемкими и длительными. В связи с этим задача интенсификации таких процессов весьма актуальна.

Коэффициенты молекулярного переноса тепла и массы практически не зависят от магнитных, электрических и других воздействий, поэтому методы интенсификации тепломассообменных процессов направлены на изменение гидродинамической обстановки на границе фаз, т.е. на вынужденную конвекцию. Существенное влияние на конвективные составляющие оказывают разнообразные акустические потоки.

Кристаллизация и растворение. Известно, что кристаллизация из растворов включает в себя две основные стадии: образование кристаллических зародышей и их дальнейший рост, взаимодействие между собой и с маточным раствором. Соответственно, кинетика кристаллизации характеризуется двумя величинами: скоростью образования зародышей и скоростью роста кристаллов. В зависимости от свойств веществ, условий проведения процесса и требований к конечному продукту обе или одна из этих стадий могут оказаться лимитирующими. Общим термодинамическим условием, при котором из раствора образуются кристаллы, является пересыщение или переохлаждение раствора. Однако соблюдение этого условия недостаточно, так как переохлажденные растворы могут долгое время находиться в метастабильном состоянии [28].

В процессе кристаллизации из растворов солей, которые обладают обратной растворимостью, могут возникнуть некоторые технологические трудности. Для интенсификации в подобных случаях используют

комплексные воздействия. Одним из них является введение в раствор ферромагнитных шариков, которые нагреваются в высокочастотном электромагнитном поле (с частотой 20 кГц). В результате перегрева шариков относительно раствора в них кристаллизуются соли. Наложение переменного электромагнитного поля низкой частоты приводит шарики в интенсивное движение и сопровождается истиранием слоя и выносом кристаллов раствор. Процесс интенсификации реакции растворения – частная задача процессов интенсификации фазовых переходов. Так как акустическое воздействие ускоряет процесс кристаллизации, стоит ожидать аналогичного эффекта по отношению к процессу растворения.

1.2.1 Интенсификация теплообменных процессов

Тепловые процессы, протекающие как с изменением, так и без изменения агрегатного состояния (конденсация, выпаривание, нагревание, охлаждение и др.), могут быть интенсифицированы физическими воздействиями.

Для теплообменного оборудования используют две группы методов интенсификации: конструктивные и режимные [29]. Это разграничение условно, так как используя конструктивные методы (оребрение, установку турбулизаторов и т.п.), фактически оказывают воздействие на процесс теплообмена. Режимные методы связаны с конструкцией технологического оборудования. Разграничение же можно провести по наличию дополнительного источника энергии.

Основное сопротивление теплообмену при однофазном теплоносителе сосредоточено в пограничном слое. В связи с чем, для ускорения процесса теплообмена нужно воздействовать на пограничный слой с целью его утончения или полного разрушения. Общий принцип интенсификации конвективного теплообмена был разработан З.Ф. Чухановым, который указал, что наиболее выгодным режимом является турбулентный: в трубах и пограничном слое при внешнем обтекании тел. Турбулизации потока можно

достичь увеличением скорости потока или его колебаний, а также движением теплопередающей поверхности.

Активное промышленное внедрение различных методов интенсификации теплообменных процессов связано с достижением хороших практических результатов посредством уменьшения массы теплообменного оборудования.

Считается, что задача интенсификации конвективного обмена является наиболее актуальной для теплоносителей с высокими значениями чисел Рейнольдса.

Различные методы интенсификации теплообмена подразделяются на две группы: активные и пассивные [30].

1. Активные методы интенсификации:

- механическое воздействие на поверхность теплообмена (вращение или вибрация поверхности, перемешивание жидкости и т.п.);

- воздействие на поток электрическим, магнитным или акустическим полем, пульсациями давления; вдув или отсос рабочей среды через пористую поверхность и др.

2. Пассивные методы, в основе которых воздействие на поток формой поверхности теплообмена:

- применение вставных интенсификаторов (винтовых, локальных и пластинчатых закручивателей потока);

- различное оребрение поверхности теплообмена и др.

1.2.2. Интенсификация массообменных процессов

Процесс сушки является наиболее распространенным и одним из наиболее энергоемких в химической технологии, от которого зависит качество целевого продукта. В связи с этим интенсификация процесса сушки способствует энергосбережению, а также позволяет создать условия для гибкого управления процессом.

Решающую роль в технологии сушки играет форма связи влаги с материалом [31] и его дисперсность [32]. Изменение влагосодержания и температуры тела зависит от взаимосвязанного механизма переноса влаги и тепла внутри влажного материала и тепломассообмена поверхности тела с окружающей средой.

Методы интенсификации процесса сушки можно разбить на следующие группы: методы, ускоряющие фазовый переход, внутренний массоперенос, внешний тепломассообмен и комбинированные методы.

На фазовый переход можно влиять инфракрасными лучами (радиационная сушка), электромагнитными колебаниями (СВЧ-сушка), ультразвуком (акустическая сушка), а также вакуумированием (сублимационная сушка).

Внешний тепломассообмен ускоряется действием вибрационных и акустических методов, а также электрическими полями. Особую эффективность представляет сочетание указанных методов с псевдооживлением слоя дисперсного материала.

1.2.3. Интенсификация механических и гидромеханических процессов (диспергирование)

Диспергирование жидкостей – сложный процесс, который зависит от множества факторов. Распад струи на капли и дробление капель происходит на выходе струи из распылителя под действием внешних и внутренних сил.

К внешним силам относят силы взаимодействия распыляемого компонента со средой, в которую он диспергируется. Эти силы зависят от скорости струи, плотности окружающей среды и размеров капель жидкости. К внешним силам относятся также силы взаимодействия при пересечении струй или при встрече струй с твердой стенкой. С увеличением скорости движения струи относительно среды, в которую происходит впрыск, влияние внешних сил растет, что приводит к быстрейшему ее дроблению, а, следовательно, к улучшению качества распыления.

К внутренним силам относят молекулярные силы и турбулентность потока. В струе вытекающей жидкости возникают турбулентные пульсации, интенсивность которых зависит от ее плотности, вязкости, перепада давления, а также от конструкции распылителя. Повышение скорости течения жидкости влечет за собой увеличение интенсивности турбулентных пульсаций, что напрямую повышает качество распыления.

Дробление струи, и образование капель происходит следующим образом. В процессе впрыска жидкости образуется жидкая пленка, которая под действием внешних сил распадается на множество частиц различного размера и формы. Малые частицы под действием поверхностного натяжения принимают форму шара и образуют капли; крупные — продолжают распадаться дальше.

Дисперсность распыляемой жидкости характеризуется средним диаметром образующихся капель: лучшее распыление достигается при малом среднем диаметре капель.

Анализ распыления жидкости форсунками и центробежными механизмами позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Течение жидкости перед распылением должно быть преобразовано в такие формы (струя, пленка), которые обладают наибольшей поверхностной энергией и поэтому являются неустойчивыми и быстро распадаются.

2. Распыление жидкости при любых способах обусловлено потерей устойчивости течения в струях или пленках в связи с возникновением неустойчивых волн на поверхности раздела жидкости и газа.

В настоящее время существуют следующие основные точки зрения на механизм распыливания:

- распад под влиянием осесимметричных возмущений, возрастающих под воздействием капиллярных сил может быть распространен на тонкие струи, движущиеся с малыми скоростями [33, 34];

- распад под воздействием турбулентных пульсаций [34], приводящих к отрыву отдельных частиц жидкости;

- распад под воздействием кавитационных явлений, возникающих вследствие колебательных процессов, которые сопровождают течение жидкости перед распыливанием.

Из физических параметров на распад струи жидкости наиболее существенно влияют вязкость $\mu_{ж}$ и поверхностное натяжение σ , а также плотности жидкости $\rho_{ж}$ и окружающего газа $\rho_{г}$.

Из режимных параметров наиболее существенным является относительная скорость движения струи (пленки) жидкости в газовом потоке, которая, в свою очередь, во многом определяется способом распыливания.

Гидравлическое диспергирование. По этому способу жидкость дробится за счет давления нагнетания при свободном распаде струи, вытекающей с большой скоростью из соплового отверстия распылителя. Распыливающие устройства, с помощью которых реализуется этот способ, широко известны под названием механических (гидравлических) форсунок.

В зависимости от скорости истечения жидкости из форсунки различают несколько видов распада струи. При малых скоростях струя на некотором расстоянии от сопла благодаря возникающим осесимметричным деформациям в дальнейшем распадается на отдельные крупные капли равных диаметров [11]. С увеличением скорости истечения жидкости возникают волнообразные деформации, ось струи искривляется, эти деформации усиливаются и приводят к волнообразному распаду. Наконец, при дальнейшем увеличении скорости струи длина нераспавшегося участка резко сокращается, и струя начинает распадаться вблизи сопла. Последний вид распада называют распыливанием [35]. Аналогично распадаются жидкостные пленки (рис. 1.4).

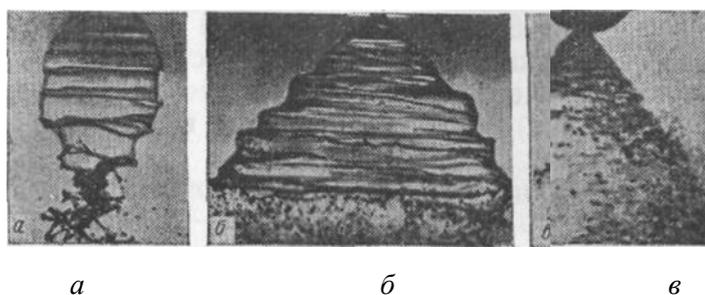


Рис. 1.4. Виды распада жидкостной пленки при гидравлическом распыливании: а – пузырь; б – тюльпан; в – распыливание.

Распад капель также зависит от скорости истечения (рис. 1.4). При малой скорости капли не дробятся и увлекаются воздухом. С увеличением скорости капли теряют устойчивость и распадаются на более мелкие. При очень больших скоростях капля под влиянием перепада давления на ее поверхности образует тело, похожее на эллипсоид, который быстро сплющивается в центре и превращается в жидкое кольцо с тонкой оболочкой – «мешок».

Гидравлическое распыление – самое экономичное (2-4 кВт на 1 т жидкости), однако, создаваемый при этом распыл довольно грубый и неоднородный, затруднено регулирование расхода при заданном качестве дробления, а также распыливание высоковязких жидкостей в холодном состоянии. Вместе с тем этот способ наиболее широко распространен вследствие сравнительной его простоты [36].

Гидравлические форсунки можно разделить на пять основных классов: струйные, центробежные, центробежно-струйные, ударно-струйные и комбинированные.

Струйные форсунки (рис.1.5) представляют собой насадки с цилиндрическим соплом (или несколькими соплами), из которого вытекает струя жидкости (рис. 1.5, а и б), распадающаяся на капли относительно крупного размера и образующая факел с малым корневым углом и значительной дальностью струи.

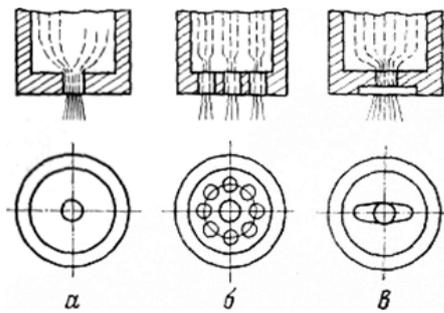


Рис. 1.5. Схемы струйных форсунок: а – с одним цилиндрическим соплом; б – многосопловая; в – веерная

Центробежные форсунки (рис. 1.6). В этих форсунках создается закрутка подаваемой через нее жидкости. В сопловом канале, вдоль его стенки, жидкость движется в виде вращающейся пленки, а центр заполняет так называемый воздушный вихрь. При истечении из сопла жидкостная пленка распадается, образуя факел в виде полого конуса.

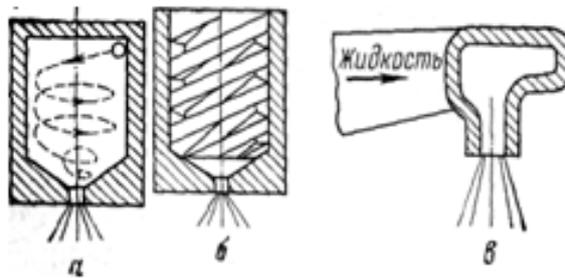


Рис. 1.6. Схемы центробежных форсунок: а – тангенциальная; б – шнековая (с винтовой вставкой); в – эвольвентная.

Центробежно-струйные форсунки (рис.1.7). Форсунки этого класса отличаются от центробежных наличием двух потоков подводимой жидкости. Часть жидкости подводится тангенциально в камеру закручивания (рис.1.7,а) или проходит по винтовым периферийным каналам вставки (рис.1.7, б), образуя вращающийся поток. Другая часть проходит через центральное отверстие вставки, образуя сплошную струю, причем ее диаметр должен быть несколько больше внутреннего диаметра кольцевого потока, вращающегося в сопловом канале. Тогда за счет взаимодействия

вращающаяся жидкость будет накручивать центральную струю, создавая единый поток, который на выходе сопла образует факел в виде сплошного конуса.

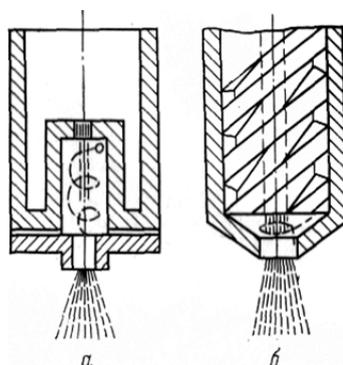


Рис. 1.7. Схемы центробежно-струйных форсунок: а – тангенциальная; б – с винтовой вставкой

Ударно-струйные форсунки (рис.1.8). В этих форсунках распыливание происходит вне корпуса насадка, за счет удара струи об отражатель, расположенный напротив соплового отверстия. В зависимости от конструкции отражателя образуется факел в виде одиночного полого конуса или в виде нескольких концентрических конусов.

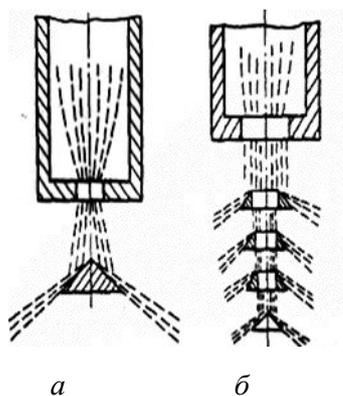


Рис. 1.8. Схемы ударно-струйных форсунок: а – со сплошным отражателем; б – с многоступенчатым отражателем.

Комбинированные форсунки. Эти форсунки состояются из двух или более различных по принципу действия форсунок, объединенных общим

корпусом, в зависимости от требований, предъявляемых к распылу, и условий работы [35,36].

Механическое диспергирование. Механическое диспергирование осуществляется с помощью механизмов, вращающихся от специального привода. Жидкость приобретает кинетическую энергию вследствие действия центробежных сил. Как и в случае гидравлического распыливания, в зависимости от конструкции распыливающего механизма (диск, стакан, конус и др.), дроблению подвергается струя или пленка жидкости. Характер дробления жидкости в данном случае в значительной мере определяется ее расходом. При очень малом расходе на кромке вращающегося ротора возникает жидкий тор, который под действием центробежных сил деформируется. На нем образуются шаровидные узлы, затем они отрываются в виде отдельных капель. При увеличении расхода эти узлы вытягиваются в тонкие струи и нити.

При дальнейшем увеличении расхода нити не могут пропустить всю жидкость из тора, он сбрасывается с кромки и образует пленку. Вначале эта пленка вытягивается на определенное расстояние от кромки, а далее распадается на нити и крупные капли.

К достоинствам этого способа следует отнести возможность распыливания высоковязких и загрязненных жидкостей и широкого регулирования потока жидкости без существенного изменения дисперсности. Основные недостатки: энергоемкость (15 кВт на 1 т жидкости) и наличие вентиляционного эффекта. Механическое распыливание используют главным образом для дробления вязких жидкостей и суспензий.

Механизмы таких распылителей бывают двух видов: с непосредственной подачей жидкости на распыливающий элемент и с погружением.

Распылители с непосредственной подачей жидкости на распыливающий элемент (рис. 1.9, а). Жидкость самотеком или под некоторым избыточным давлением подается на рабочий элемент и за счет

центробежных сил растекается по нему и распыливается.

Погружные распылители. Жидкость захватывается из питательной емкости за счет вязкостных сил самим рабочим элементом, а распыливается за пределами погруженного участка (рис. 1.9, б).

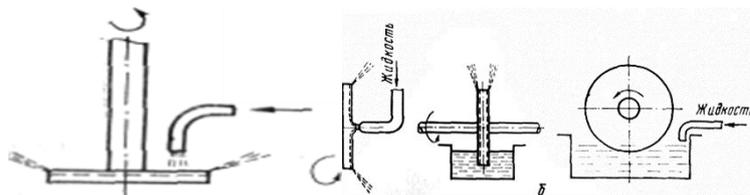


Рис. 1.9. Классификация механических распылителей:

а – с непосредственной подачей жидкости на рабочий элемент; б – с погружным рабочим элементом

Пневматическое диспергирование. В этом случае диспергирование является следствием динамического взаимодействия потока распыливаемой жидкости с потоком распыливающего газа (пара). Последний выходит из канала с большой скоростью (50 – 300 м/с), скорость же истечения струй жидкости невелика. При большой относительной скорости потоков между струями газа и жидкости возникает трение, вследствие чего струя жидкости, будучи как бы закрепленной с одной стороны, вытягивается в отдельные тонкие нити. Эти нити в местах утоньшения быстро распадаются и образуют мелкие капли. Длительность существования статически неустойчивой формы в виде нитей зависит от скорости газа и физических свойств жидкости. Чем больше скорость, тем тоньше нить, тем меньше период ее существования и тем более дисперсным получается распыл.

К достоинствам пневматического способа относятся малая, по сравнению с гидравлическим, зависимость качества распыливания от расхода жидкости, надежность в эксплуатации, возможность распыливания высоковязких жидкостей. Недостатки: повышенный расход энергии на распыливание (50-60 кВт на 1 т жидкости), необходимость в распыливающем агенте и в связанном с ним оборудовании.

Решающую роль играют перепады давления на форсунке распыливаемой жидкости и распыливающего газа. Их соотношением определяется характер указанных взаимодействий и конструктивное решение форсунки. Под влиянием этих перепадов пневматические форсунки делят на форсунки низкого (рис. 1.10) и высокого (рис. 1.11) давления и пневмогидравлические (рис. 1.12).

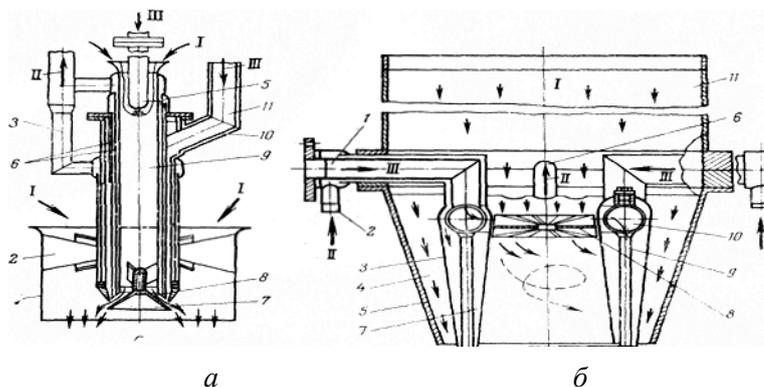


Рис. 1.10. Схемы форсунок низкого давления:

а – с дефлектором: 1 – цилиндр; 2 – лопатки; 3, 4 – каналы для подвода и отвода жидкости; 5, 10 – охлаждаемые полости; 6 – перегородки; 7 – дефлектор; 8 – сопло; 9 – патрубок для воздуха; 11 – канал для подвода жидкости; б – с подводом жидкости по индивидуальным каналам: 1, 2 – каналы для подвода распыливаемой жидкости и охлаждающей воды; 3, 5 – кожухи; 4 – канал для подачи газа; 6 – сборник; 7 – полость; 8 – завихритель; 9 – патрубок; 10 – распределитель; 11 – короб

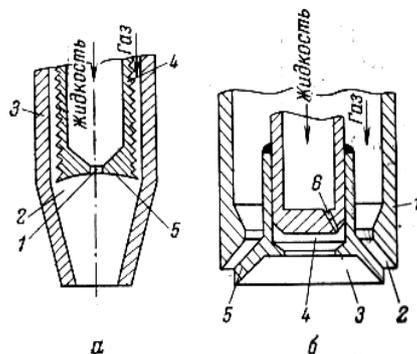


Рис. 1.11. Схемы пневматических форсунок высокого давления:

а – внутреннего смешения с закруткой газа: 1 – внутреннее (жидкостное)

сопло; 2 – полость смешения; 3 – корпус; 4 – вкладыш с винтовой направляющей; 5 – сферическая выемка; б – внешнего смешения с закруткой жидкости: 1 – корпус; 2 – кольцевой канал для выхода газа; 3 – сопло; 4 – камера закручивания; 5 – наружная втулка; б – тангенциальный канал газа

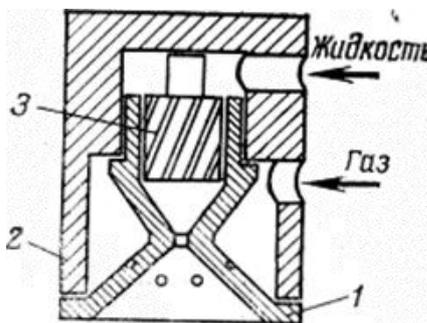


Рис. 1.12. Схема пневмогидравлической форсунки: 1 – газовый регистр; 2 – корпус; 3 – завихритель

Акустическое диспергирование. Такое диспергирование во многом схоже с пневматическим. Жидкость получает энергию при взаимодействии с потоком газа. Однако при этом, в отличие от пневматического диспергирования, газу сообщаются колебания ультразвуковой частоты, что при прочих равных условиях обеспечивает более тонкое и однородное дробление.

Этот способ диспергирования более экономичен и перспективен, чем пневматическое диспергирование, однако конструкции акустических распылителей несколько сложнее, чем пневматических.

Акустические форсунки по конструкции можно разделить на две основные группы: 1) форсунки со стержневым газоструйным излучателем Гартмана (рис.1.13); 2) форсунки, в которых для создания колебаний используют струйные излучатели других типов, а также аэродинамические свистки с клином и вихревые свистки [36].

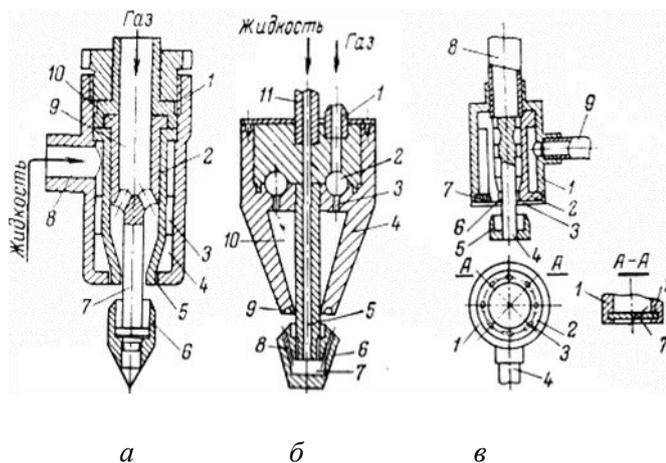


Рис. 1.13. Схемы акустических форсунок со стержневым излучателем Гартмана: а – с закручивающим элементом в жидкостном канале: 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – завихритель; 4 – кольцевой канал; 5 – выходное сопло; 6 – излучатель; 7 – стержень; 8 – жидкостной канал; 9 – газовый канал; 10 – сопловая вставка; б – с полым стержнем резонатора: 1, 11 – патрубки; 2 – коллектор; 3 – каналы; 4 – корпус; 5 – полый стержень; 6 – головка резонатора; 7 – резонирующая полость; 8 – каналы; 9 – выемка; 10 – воздушная полость; 11 – патрубок для подвода жидкости; в – с отверстиями для ввода жидкости, расположенными в торце корпуса: 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – сопло; 4 – стержень; 5 – резонатор; 6 – щель; 7 – отверстие; 8 – газовая трубка; 9 – жидкостная трубка.

Электрическое диспергирование. Струю (пленку) жидкости подают в область сильного электрического поля [37]. Под действием этого поля на поверхности жидкости происходит некоторое распределение давления, которое деформирует струю. Деформации могут достичь большой амплитуды и привести к образованию тонких струй, которые затем дробятся.

Недостатки электрического распыливания: необходимость в громоздком и дорогостоящем оборудовании, его высокая энергоемкость, а также весьма незначительная производительность и сложность

обслуживания. Вместе с тем этот метод находит применение в некоторых распылительных сушилках и в процессах окраски методом распыливания.

Расход жидкости в форсунке, изображенной на рис. 1.14 составлял 10 кг/ч, расход воздуха 200 м³/ч. Жидкость, поступающая по трубке 2 совместно с воздухом, ионизированные молекулы которого ускоряются в электрическом поле, направляется через кольцо 1. Кольцевой канал 5 вместе с топливным соплом образует пару зональных электродов.

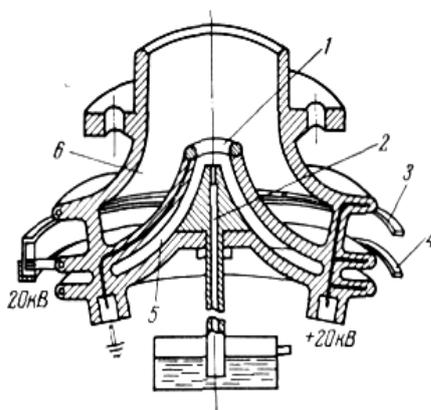


Рис. 1.14. Форсунка электрического распыливания: 1 – кольцо; 2 – трубка; 3, 4 – искровые электроды; 5,6 – кольцевые каналы.

Вторичный воздух поступает по двум кольцевым каналам 5 и 6, предварительно пройдя искровые электроды 3 к 4. Благодаря большой плотности поля на искровых электродах (10^7 В/см) молекулы воздуха приводятся в движение, и из кольцевых каналов 5 и 6 воздух выходит со скоростью до 20 м/с.

Ультразвуковое диспергирование. Различают две схемы ультразвукового диспергирования [31]. В одном случае струя (пленка) жидкости подается на колеблющийся элемент пьезоэлектрического или магнитострикционного генератора, в другом – она подвергается действию ультразвуковых колебаний воздуха. По сущности протекающих процессов – это два различных способа, которые объединяет лишь наложение на жидкость колебаний сверхзвуковых частот. Поэтому первый способ

распыливания будем называть в дальнейшем ультразвуковым, а второй – акустическим.

В указанных распыливающих устройствах под действием ультразвука в жидкой среде происходит комплекс физических и физико – химических процессов, к числу которых в первую очередь относят кавитацию, звуковое давление, акустическое течение. Воздействие звукового излучения и звукового давления приводит к отрыву отдельных капель с гребней микроволн. Распаду струи способствует интенсивное образование кавитационных зон.

В акустических распылителях используют неустойчивость газовой струи, с которой соприкасается струя или пленка жидкости. Колебания газовой струи резко увеличиваются в результате различных волновых явлений, возникающих в жидкости, особенно в резонансной области. Последние приводят к значительно более тонкому дроблению жидкости, чем обычное пневматическое распыливание.

Таким образом, аэродинамическое ультразвуковое распыливание, сохраняя все недостатки пневматического распыливания, является более экономичным и перспективным. Однако конструкция ультразвуковых распылителей несколько сложнее.

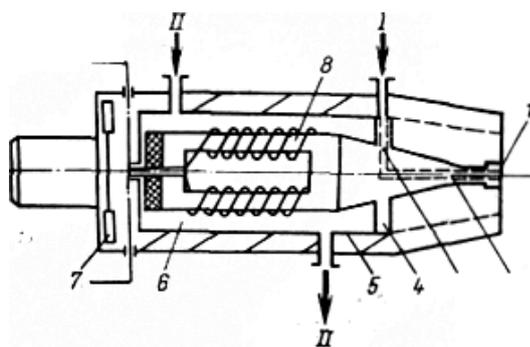


Рис. 1.15. Схема ультразвуковой форсунки: 1– концентратор; 2 – осевое отверстие; 3 – радиальное сверление; 4, 8 – соответственно пассивный и активный элементы генератора; 5 – корпус; 6 – канал; 7 – вентилятор

2 Расчет и аналитика

2.1 Математическая модель процесса механического диспергирования вязкой жидкости

Нами был выбран механический способ диспергирования жидкостей с помощью вращающейся роторной форсунки, т.к. в отличие от других способов диспергирования он позволяет диспергировать вязкие и высоковязкие жидкости, в том числе с механическими примесями.

В форсунках с вращающимся распылителем пленка образуется при вращении ротора форсунки, во внутреннюю полость которого подается жидкость. Пленка становится неустойчивой и распадается на капли. Существует три режима распыливания жидкости [38].

При малых расходах жидкости (первый режим распыливания) на периферии ротора образуется жидкое кольцо, на котором развиваются местные возмущения. Возмущенный участок кольца преобразуется в отросток, который вытягивается в сферическую головку с тонкой соединительной перемычкой. Эта головка отделяется, образуя первую каплю, а перемычка распадается с образованием мелких капель – спутников.

При увеличении расхода жидкости возникает второй режим распыливания, при котором отростки на кольце принимают форму длинных нитей. На некотором расстоянии от периферии ротора нити распадаются на капли примерно одинаковых размеров, а тонкие перемычки между ними – на более мелкие капли – спутники. При определенном расходе число нитей достигает постоянного значения.

Когда нити не могут пропустить всю жидкость из кольца на кромке, это кольцо сбрасывается с кромки, образуя пленку. Наступает третий режим распыливания, когда пленка распадается на капли различных размеров.

Как видим, каждый режим определяется расходом Q или толщиной пленки δ , образующейся на кромке ротора [38].

Размеры капель зависят от толщины пленки δ . Рассмотрим течение вязкой жидкости внутри ротора форсунки (рис. 2.1).

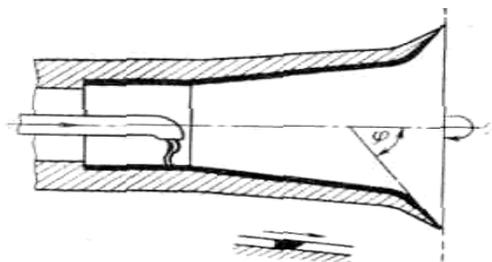


Рис. 2.1. Схема течения жидкости внутри вращающегося ротора

Будем считать, что толщина слоя жидкости мала по сравнению с размерами ротора, а течение – осесимметричное. При этих предположениях статическое давление постоянно по слою, составляющая скорости ϑ_φ мала по сравнению с составляющей ϑ_ξ , направленной вдоль образующей ротора форсунки, а составляющая ϑ_0 мала по сравнению с составляющей ϑ_ζ .

Предположим также, что частица движется по радиусу, и скольжение жидкости относительно поверхности ротора отсутствует. Тогда можно записать уравнение движения:

$$\frac{\partial^2 \vartheta_\xi}{\xi^2 \partial \psi^2} + \frac{\rho_1 \omega^2 \xi}{\mu_1} \sin^2 \varphi_0 = 0. \quad (2.1)$$

Граничные условия будут следующие: $\vartheta_\xi = 0$ на стенке ($\psi = 0$); $\frac{\partial \vartheta_\xi}{\xi \partial \psi} = 0$ на свободной поверхности ($\psi = \psi_1$). Решение уравнения (2.1) с учетом граничных условий примет вид:

$$\vartheta_\xi = \frac{\rho_1 \omega^2}{\mu_1} \sin^2 \varphi_0 \left(\xi_1^3 \psi_1 \psi - \xi^3 \frac{\psi^2}{2} \right),$$

где ω – угловая скорость вращения форсунки; ξ – осевая координата на свободной поверхности.

Величина ψ_1 определяется из условия, что общий расход жидкости в слое равен расходу жидкости Q в роторе. Тогда:

$$\psi = \frac{2\pi\rho_1\omega^2}{3\mu_1} \sin^3 \vartheta_0 \psi_1^3$$

Обозначив

$$\delta = \xi_1 \psi_1 \quad \text{и} \quad r = \xi_1 \sin \varphi_0,$$

получим:

$$Q = \frac{2\pi\rho_1\omega^2}{3\mu_1} r^2 \delta^3 \sin \varphi_0.$$

Из этого уравнения толщина слоя жидкости (пленки):

$$\delta = \left(\frac{3\mu_1 Q}{2\pi\rho_1\omega^2 r^2 \sin^2 \varphi_0} \right)^{0,333} \quad (2.2)$$

Исходя из принятых предположений, величина $\psi_1 \ll 1$ или $\frac{\delta}{\xi_1} \ll 1$, т. е.

$$\left(\frac{\mu_1 Q \sin^2 \varphi_0}{\rho_1 \omega^2 r^5} \right)^{0,333} \ll 1$$

Если в формуле (2.2) принять $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$, то толщина пленки на вращающемся роторе:

$$\delta = \left(\frac{3\mu_1 Q}{2\pi\rho_1\omega^2 r^5} \right)^{0,333}. \quad (2.3)$$

Таким образом, по формулам (2.2) и (2.3) могут быть определены необходимые для дальнейших расчетов толщины жидких пленок, образующихся соответственно на кромке вращающегося ротора. Максимальная скорость движения жидкости в пленке в радиальном направлении

$$\phi_{\xi m} = 0.5 \left(\frac{3}{2\pi} \right)^{0,667} \left(\frac{\omega^2 Q^2 \rho_1}{r \mu_1} \right)^{0,333},$$

а средняя скорость:

$$\vartheta = \frac{2}{3} \phi_{\xi m}$$

Рассмотрим переход от одного режима распыливания к другому, используя безразмерные критерии [35]. В случае вращающихся

распылителей к используемым ранее критериям нужно добавить критерии, учитывающие наличие сил Кориолиса, действующих на жидкую пленку, стекающую с форсунки: критерий Экмана, характеризующий соотношение силы вязкости и силы Кориолиса:

$$E = \frac{\mu_1}{\omega^2 \rho_1 \delta^2};$$

критерий Россби, характеризующий соотношение сил инерции и силы Кориолиса:

$$Ro = \frac{g}{\omega \delta},$$

где величину δ определяем для случая ламинарного течения по формуле (2.3).

Тогда описать процесс распыливания жидкости вращающимися распылителями можно при помощи следующих критериев:

$$\text{Вебера } We = \frac{g^2 \delta \rho_1}{\sigma};$$

$$\text{Лапласа } Lp = \frac{\delta \rho_1 \sigma}{\mu_1^2};$$

$$\text{Экмана } E = \frac{\mu_1^2}{\omega^2 \rho_1 \delta^2};$$

$$\text{Россби } Ro = \frac{g}{\omega \delta}; \quad M = \frac{\rho_2}{\rho_1}; \quad N = \frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Следует иметь в виду, что критерии We и Lp связаны с критерием Рейнольдса ($Re^2 = We \cdot Lp$), а критерий Россби – с критериями Экмана и Рейнольдса ($Ro = ERe$).

При ламинарном течении пленки величины g и δ могут быть выражены через измеряемые величины Q , r , ω . Тогда критерии We , Lp , E и Ro могут быть представлены в виде:

$$We = \frac{1}{9} \left(\frac{3}{2\pi} \right)^{1.667} \left(\frac{\rho_1^4 Q^5 \omega^2}{\sigma^3 r^4 \mu_1} \right)^{0.333}; \quad (2.4)$$

$$Lp = \left(\frac{3}{2\pi}\right)^{0.333} \left(\frac{Q\rho_1^2\sigma^3}{\omega^2 r^2 \mu_1^5}\right)^{0.333}, \quad (2.5)$$

$$Ro = \frac{1}{3} \left(\frac{3}{2\pi}\right)^{0.333} \left(\frac{Q\omega r \rho_1^2}{\mu_1^2}\right)^{0.333}, \quad (2.6)$$

$$E = \left(\frac{2\pi}{3}\right)^{0.667} \left(\frac{\mu_1 \omega r^4}{\rho_1 Q_2}\right)^{0.333}. \quad (2.7)$$

Переход от второго режима распыливания к третьему можно описать, используя следующие безразмерные критерии:

$$\Pi_1 = \frac{\rho_1 Q^2}{D_\sigma^3 \sigma}; \Pi_2 = \frac{\rho_1 \omega^2 D_\sigma^3}{\sigma}; \Pi_3 = \frac{\mu_1^2}{\rho_1 D_\sigma \sigma}, \quad (2.8)$$

где D_σ – диаметр ротора форсунки.

Хорошо видно, что критерии Π_1 , Π_2 и Π_3 , связаны с критериями We , Lp , E и Ro :

$$\Pi_1 = k_1 \frac{ELpWe^2}{Ro^3};$$

$$\Pi_2 = k_2 \frac{E^{0.5} Ro^{1.5}}{Lp^{0.5}};$$

$$\Pi_3 = k_3 \frac{E^{0.75} We Lp^{0.25}}{Ro^{4.5}},$$

где k_i – численные коэффициенты.

В результате исследования перехода от капельного истечения к струйному при распыливании жидкости вращающимися форсунками была получена следующая формула для определения расхода жидкости:

$$Q = 4.8K_1 \frac{2r_\delta \pi}{\lambda_b} \left(\frac{a^3 \sigma}{\rho_1}\right)^{0.5}, \quad (2.9)$$

r_δ – радиус ротора; $K_1 = 0,406$; a – радиус струи, вычисляемый по формуле:

$$a = (2\sigma / \pi \rho_1 r \omega^2)^{0.5}; \quad (2.10)$$

λ_b – длина волны возмущения, определяемая по формуле:

$$\lambda_b = 9a[1 + (4,5 \mu_1^2 / a \rho_1 \sigma)^{0.5}]. \quad (2.11)$$

Используя критерии Π_1 , Π_2 и Π_3 , а также формулы (2.9) – (2.10), получим следующее уравнение граничной кривой, отделяющей области капельного и струйного истечения:

$$\Pi_1 = \frac{0.37}{\Pi_2^{0.5} (1 + 2.38 \Pi_2^{0.25} \Pi_3^{0.5})^2}.$$

Учитывая реальные значения критериев $\Pi_2 \approx 10^{-4}$ и $\Pi_3 \approx 10^6$, эта формула может быть упрощена:

$$\Pi_1 = \frac{0.155}{\Pi_2 \Pi_3}.$$

Для оценки длины нераспавшейся части жидкой нити на втором режиме распыливания можно использовать следующие формулы:

для маловязких жидкостей:

$$\frac{Lc}{r} = 2.3 \left(\frac{Q^6 \rho_1}{r^{15} \omega^4 \sigma} \right)^{0.143};$$

для вязких жидкостей:

$$\frac{Lc}{r} = 5.4 \left(\frac{\omega^2 \mu_1^{20}}{r^{19} \rho_1^5 \sigma^{15}} \right)^{0.0833}.$$

При небольших окружных скоростях вытекающая из форсунки струя цилиндрической формы распадается на капли в результате нарастания осесимметричных колебаний. С увеличением скорости вращения ротора на распад начинает влиять окружающая газообразная среда и, кроме осесимметричных, наблюдаются волнообразные колебания. При дальнейшем увеличении скорости струя вытягивается в пленку. Для осесимметричного распада струи:

$$\frac{Lc}{D_0} = 1.06 (\Pi_1^* + \Pi_2^*) \Pi_3^{*0.25},$$

$\Pi_1^* + \Pi_2^* \leq 10^3$; D_0 – диаметр отверстий в роторе; для переходного режима (распад с волнообразными колебаниями):

$$\frac{Lc}{D_0} = 0.7 (\Pi_1^* + \Pi_2^*) \Pi_3^{*0.25},$$

где $1.1 \cdot 10^3 \leq \Pi_1^* + \Pi_2^* \leq 1.7 \cdot 10^3$.

При деформации струи в пленку найдено отношение:

$$\frac{Lc}{D_0} = 4.42 \cdot 10^5 (\Pi_1^* + \Pi_2^*)^{-0.8} \Pi^{*0.25},$$

$$\text{где } \Pi_1 + \Pi_2 \geq 1.8 \cdot 10^3; \Pi_1^* = \frac{D_0 \rho_1 Q^2}{\sigma f_\kappa^2},$$

$$\Pi_2^* = \frac{\rho_1 \omega^2 D_0 r_\sigma^2}{\sigma}; \Pi_3 = \frac{\mu_1^2}{D_0 \rho_1 \sigma},$$

f_κ – площадь поперечного сечения подводного канала.

Результаты обработки данных исследования распыливания различных жидкостей (воды, органической жидкости, растворов органических жидкостей и солей) в широком диапазоне применения параметров можно представить в виде:

$$d/\delta = c \cdot We^{-0.5} \cdot Lp^{-0.04} \quad (2.12)$$

где δ – толщина пленки на периферии ротора; We – критерий Вебера, $c = 81,5$ [7, 9, 26].

С учетом вышеописанных преобразований была получена формула для расчета среднего диаметра (мкм) в зависимости от расхода расплава, частоты вращения и диаметра форсунки и свойств жидкости (плотности и поверхностного натяжения).

$$d = 4,27 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{\omega^{0.95}}\right) \cdot \left(\frac{1}{D^{0.61}}\right) \cdot \left(\frac{\gamma}{\rho}\right)^{0.42} \cdot Q^{0.12} \quad (2.13)$$

где d – средний диаметр частицы, мкм; ω – угловая скорость форсунки, рад/с; D – диаметр ротора, м; γ – поверхностное натяжение, Н/м; ρ – плотность распыляемого металла, кг/м³; Q – расход вещества, м³/с

2.2 Расчет и оптимизация процесса механического диспергирования водно-солеорганических композиций

Расчет и оптимизация процесса диспергирования холодной вязкой жидкости вращающимся ротором. При механическом способе диспергирования жидкостей с помощью вращающейся форсунки уменьшение диаметра образующихся капель достигают, в основном, путем повышения скорости вращения ротора форсунки без дополнительного подогрева пленки жидкости. Нами предлагается уменьшение диаметра образующихся капель осуществлять путем повышения температуры пленки жидкости на вращающемся роторе форсунки.

По вышеприведенной методике (п.2.1) были проведены расчеты для определения диаметра капель холодной вязкой жидкости.

Посмотрим, как ведет себя диаметр капли d_k при изменении частоты вращения ротора форсунки f с 50 до 200 Гц при постоянной температуре жидкости, равной 20 °С.

Ниже в таблице (2.1): T – температура жидкости; ρ – плотность вещества; γ – поверхностное натяжение; f – частота вращения ротора; ω – угловая скорость ротора; D – диаметр ротора; Q – объемный расход жидкости; d – диаметр образующихся капель.

Таблица 2.1. Результаты расчетов

Вещество	T, С	ρ , кг/м ³	γ , Н/м	f, Гц	ω , рад/с	D, м	Q, м ³ /с	d, мкм
Ацетон	20	792	0,0233	50	314	0,08	0,000278	396
	20	792	0,0233	75	471	0,08	0,000278	269
	20	792	0,0233	100	628	0,08	0,000278	205
	20	792	0,0233	125	785	0,08	0,000278	166
	20	792	0,0233	150	942	0,08	0,000278	139
	20	792	0,0233	175	1099	0,08	0,000278	120
	20	792	0,0233	200	1256	0,08	0,000278	106
Вода	20	1000	0,0723	50	314	0,08	0,000278	577
	20	1000	0,0723	75	471	0,08	0,000278	393
	20	1000	0,0723	100	628	0,08	0,000278	299
	20	1000	0,0723	125	785	0,08	0,000278	242
	20	1000	0,0723	150	942	0,08	0,000278	203

Продолжение таблицы 2.1

	20	1000	0,0723	150	942	0,08	0,000278	203
	20	1000	0,0723	175	1099	0,08	0,000278	176
	20	1000	0,0723	200	1256	0,08	0,000278	155
Этанол	20	789,3	0,0228	50	314	0,08	0,000278	393
	20	789,3	0,0228	75	471	0,08	0,000278	267
	20	789,3	0,0228	100	628	0,08	0,000278	203
	20	789,3	0,0228	125	785	0,08	0,000278	164
	20	789,3	0,0228	150	942	0,08	0,000278	138
	20	789,3	0,0228	175	1099	0,08	0,000278	119
	20	789,3	0,0228	200	1256	0,08	0,000278	105

На рисунке 2.2 приведены результаты сравнительных расчетов для воды, этанола и ацетона. Показано, что при диспергировании воды диаметр образующихся капель d_k больше (хотя и незначительно), чем при диспергировании ацетона и этанола.

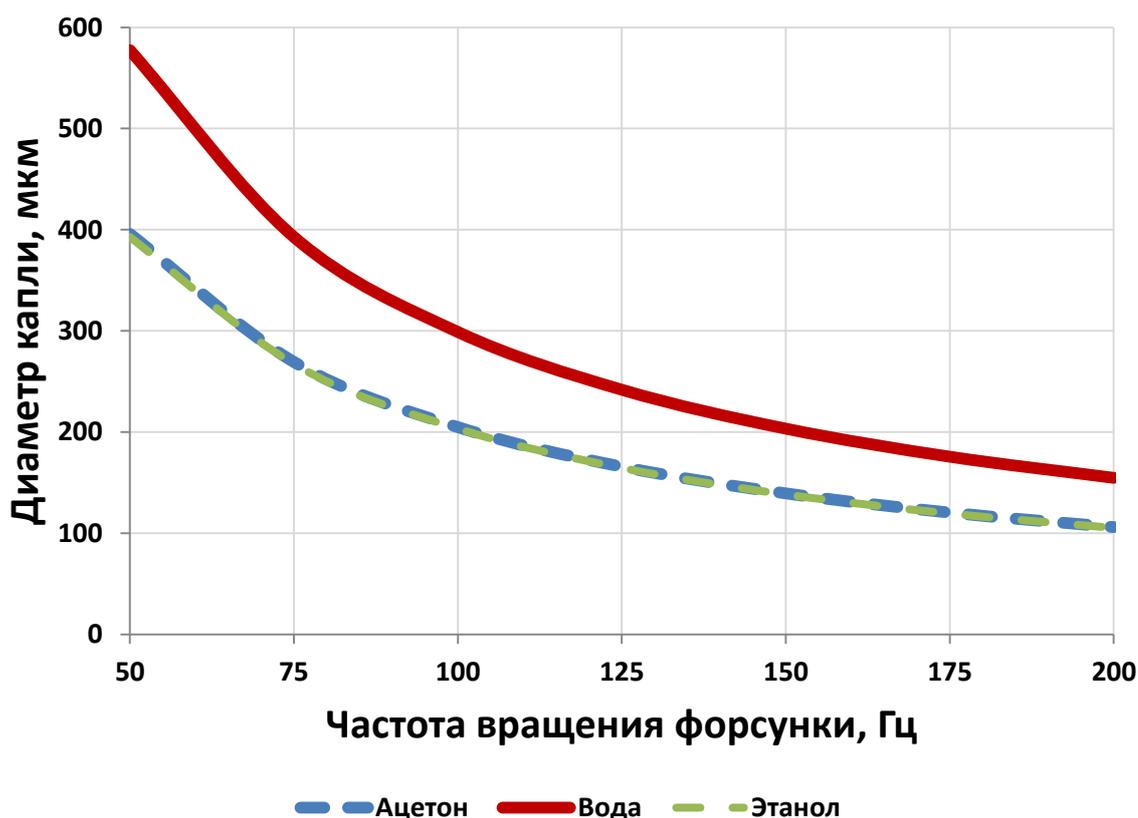


Рис. 2.2. Влияние частоты вращения ротора форсунки на размеры капель для ацетона, воды и этанола при расходе $Q = 1000$ л/ч

Наиболее сильное влияние на диаметр образующихся капель жидкости d_k оказывает частота вращения ротора форсунки. Так, при диаметре ротора $D=0,08$ м увеличение частоты вращения ротора с 50 Гц до 200 Гц (или с 3000 об/мин до 12000 об/мин) приводит к тому, что диаметр образующихся капель d_k уменьшается с 550÷600 мкм до 150-170 мкм (в 3-3,5 раза) для воды; и с 380÷400 мкм до 100-120 мкм (в 3,5-4 раза) для ацетона и этанола.

Расчет и оптимизация процесса диспергирования холодной вязкой жидкости с изменением диаметра вращающегося ротора

Таблица 2.2. Результаты расчетов

Вещество	T, С	ρ , кг/м ³	γ , Н/м	ν , Гц	ω , рад/с	D, м	Q, м ³ /с	d, мкм
Ацетон	20	790,5	0,0237	50	314	0,05	0,000278	531
	20	790,5	0,0237	50	314	0,08	0,000278	399
	20	790,5	0,0237	50	314	0,11	0,000278	329
	20	790,5	0,0237	50	314	0,14	0,000278	284
	20	790,5	0,0237	50	314	0,17	0,000278	252
	20	790,5	0,0237	50	314	0,2	0,000278	228
Вода	20	1000	0,0723	50	314	0,05	0,000278	769
	20	1000	0,0723	50	314	0,08	0,000278	577
	20	1000	0,0723	50	314	0,11	0,000278	476
	20	1000	0,0723	50	314	0,14	0,000278	410
	20	1000	0,0723	50	314	0,17	0,000278	365
	20	1000	0,0723	50	314	0,2	0,000278	330
Этанол	20	789,3	0,0228	50	314	0,05	0,000278	523
	20	789,3	0,0228	50	314	0,08	0,000278	393
	20	789,3	0,0228	50	314	0,11	0,000278	323
	20	789,3	0,0228	50	314	0,14	0,000278	279
	20	789,3	0,0228	50	314	0,17	0,000278	248
	20	789,3	0,0228	50	314	0,2	0,000278	225

На рисунке 2.3- приведены результаты сравнительных расчетов для воды, этанола и ацетона.

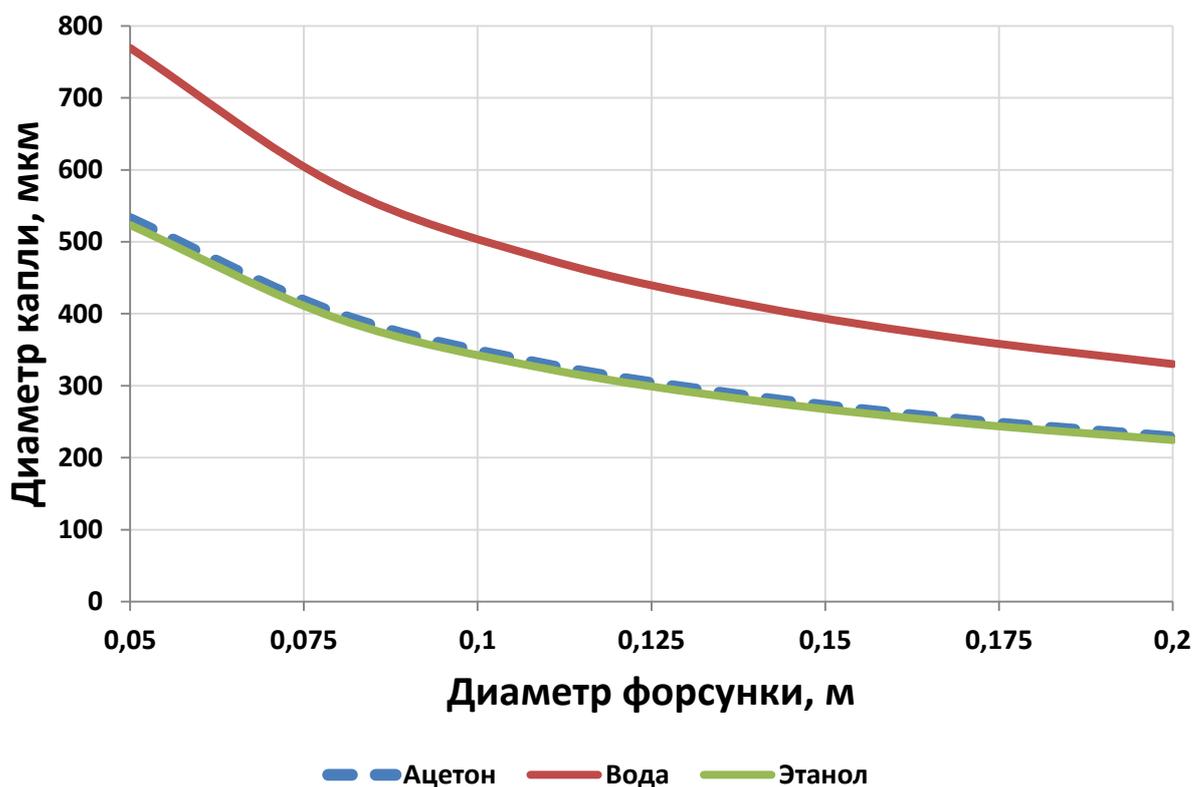


Рис. 2.3. Влияние диаметра ротора форсунки на диаметр образующихся капель

Увеличение диаметра ротора форсунки D с 0,05 до 0,2 м приводит к значительному уменьшению диаметра образующихся капель d_k . Однако мы не можем изменять диаметр ротора самой форсунки (0,08 м), потому что тогда нарушится технологическая схема и параметры. Придется изменять размеры всей системы и установки, что является недопустимым.

Расчет и оптимизация процесса диспергирования вязкой жидкости с плазменным подогревом пленки на вращающемся роторе.

Посмотрим, как влияет плазменный подогрев жидкости от 20 до 300°C на диаметр образующихся капель.

Для следующих условий были получены следующие данные для воды, ацетона и этанола:

$$\underline{D=0.08 \text{ м, } f=50 \text{ Гц, } Q=1000 \text{ л/ч}}$$

Таблица 2.3. Результаты расчетов

Вещество	T, С	ρ , кг/м ³	γ , Н/м	ν , Гц	ω , рад/с	D, м	Q, м ³ /с	d, мкм
Ацетон	20	792	0,0233	50	314	0,08	0,000278	395,848
	60	742	0,0186	50	314	0,08	0,000278	370,109
	100	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
	140	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
	180	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
	220	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
	260	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
	300	689	0,0186	50	314	0,08	0,000278	381,810
Вода	20	1000	0,0723	50	314	0,08	0,000278	577,486
	60	983,2	0,0661	50	314	0,08	0,000278	560,117
	100	958,4	0,0589	50	314	0,08	0,000278	539,389
	140	958,4	0,0508	50	314	0,08	0,000278	506,893
	180	958,4	0,0422	50	314	0,08	0,000278	468,905
	220	958,4	0,0332	50	314	0,08	0,000278	423,967
	260	958,4	0,0237	50	314	0,08	0,000278	368,000
	300	958,4	0,0143	50	314	0,08	0,000278	297,643
Этанол	20	789,3	0,0228	50	314	0,08	0,000278	392,821
	60	754	0,0192	50	314	0,08	0,000278	372,558
	100	789,3	0,0155	50	314	0,08	0,000278	334,042
	140	716	0,0112	50	314	0,08	0,000278	303,607
	180	716	0,0067	50	314	0,08	0,000278	244,676
	220	716	0,0022	50	314	0,08	0,000278	153,270
	260	716	0,0001	50	314	0,08	0,000278	41,845
	300	716	0,0001	50	314	0,08	0,000278	41,845

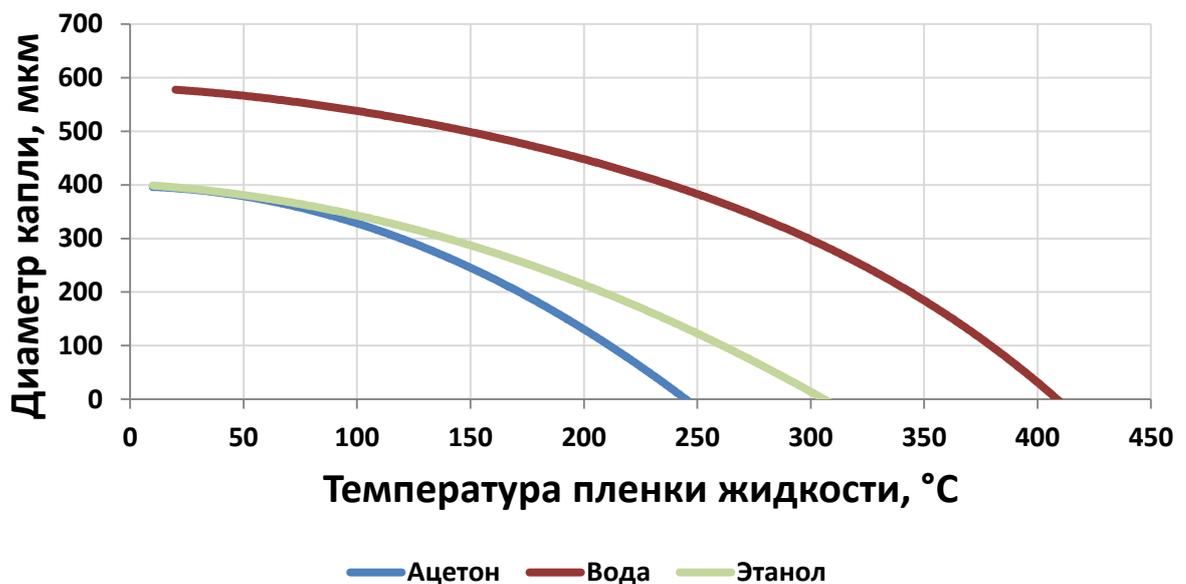


Рис. 2.4. Влияние температуры пленки ВСОК на размеры капель

На рис. 2.4 приведены результаты сравнительных расчетов для воды, ацетона и этанола. Показано, что при диспергировании воды диаметр образующихся капель d_k больше (хотя и незначительно), чем при диспергировании ацетона и этанола.

Это позволяет использовать обычные электродвигатели с числом оборотов 3000 об/мин, питающиеся от электрической сети с промышленной частотой $f=50$ Гц.

2.3 Результаты расчета и их обсуждение

Наиболее сильное влияние на диаметр образующихся капель жидкости оказывает температура жидкой пленки $t_{пл}$. Так, при диаметре ротора форсунки $D=0,08$ м, увеличение температуры пленки с 20 до 300 °С (рис. 2.4) также приводит к значительному уменьшению диаметра образующихся капель d_k .

При повышении температуры жидкости до 300 °С коэффициент динамической вязкости жидкости стремится к нулю. Тоже самое происходит с диаметром образующихся капель d_k – они просто испаряются.

На рисунках 2.2, 2.3 и 2.4 приведены результаты сравнительных расчетов для воды и этанола и ацетона. Показано, что при диспергировании воды диаметр образующихся капель больше (хотя и незначительно), чем при диспергировании ацетона и этанола.

Таким образом, дополнительный плазменный подогрев пленки жидкости до 300 °С на вращающемся роторе при низких частотах вращения ($f=50$ Гц) позволяет получить такое же тонкое и однородное распыление, как и при использовании высоких частот вращения ротора, т.е. высокооборотных специальных электродвигателей.

3 Экспериментальная часть

Для экспериментальной проверки рекомендованных условий использовался плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона, который предназначен для исследования процессов плазменного горения различных горючих водно-органических композиций в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда.

3.1 Описание экспериментальной установки

Схема плазменного стенда представлена на рисунке 3.1.

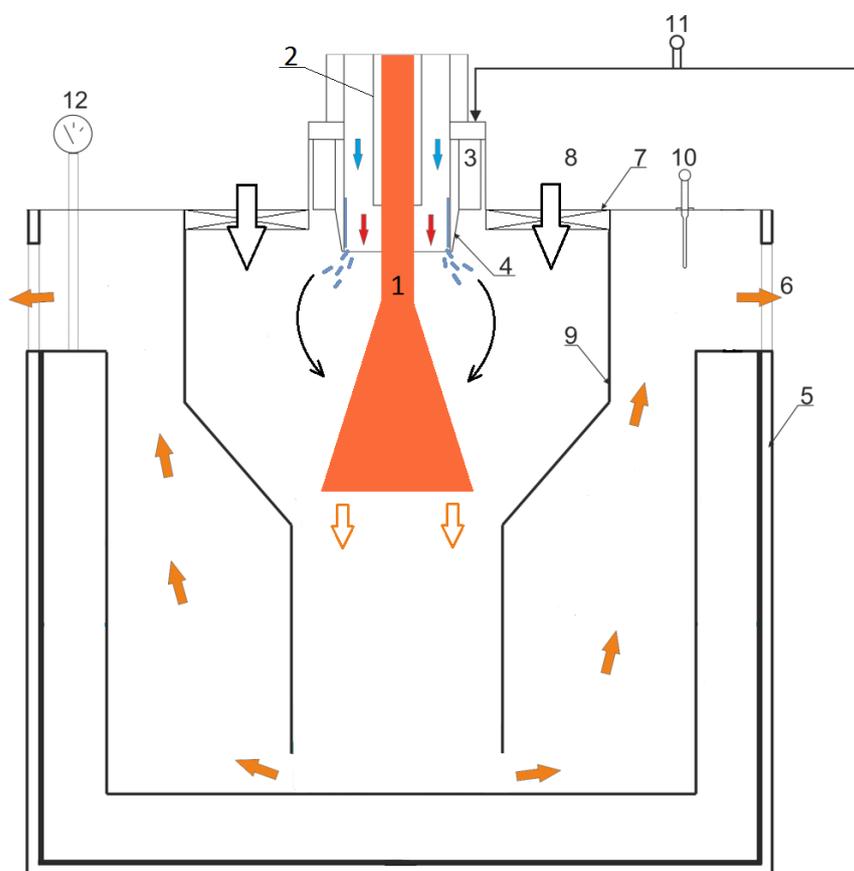


Рис. 3.1. Схема узла диспергирования плазменного реактора
1 – плазменный факел ВЧФ-плазмотрона; 2 – кварцевая разрядная камера; 3 – втулка; 4 – роторная форсунка; 5 – корпус реактора; 6 – отходящие газы; 7 – шибер; 8 – забор воздуха; 9 – реактор; 10, 11 – термопары; 12 – манометр.

Плазменный стенд включает высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 (колебательная мощность до 60 кВт, рабочая частота 13,56 МГц), от которого высокочастотная энергия подается на водо-охлаждаемый медный электрод ВЧФ-плазмотрона. ВЧФ-плазмотрон предназначен для генерирования воздушных плазменных струй со среднемассовой температурой до 4000 К. Разрядная камера ВЧФ-плазмотрона изготовлена из кварцевой трубки диаметром 50 мм и длиной 860 мм.

Высоконапорный вытяжной вентилятор ВР12-26 обеспечивает прокачку воздуха через ВЧФ-плазмотрон, реактор и вытяжной газоход.

Импеллер реактора с шибером, установленный на входе реактора, предназначен для ввода и закрутки поступающего в реактор воздуха и позволяет регулировать входную площадь импеллера в пределах $S_{\text{ИР}} = 0-1650 \text{ см}^2$.

Пирометр предназначен для бесконтактного измерения температуры плазменного горения в реакторе горючих диспергированных композиций по линии поглощения образующегося диоксида углерода.

3.2 Методика проведения эксперимента

Для достижения оптимальных значений параметров горения диспергированных водно-солеорганических композиций ВСОК (имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг) в воздушно-плазменном потоке в реакторе был проведен ряд экспериментов. Задача – проанализировать влияние мощности плазменной струи, массовой доли воды в ВСОК и частоты вращения форсунки на температуру горения ВСОК в плазменном реакторе. С помощью пирометра измерялась температура горения ВСОК внутри реактора.

Влияние мощности плазменной струи на температуру горения ВСОК в реакторе. Были получены следующие значения температур внутри реактора в зависимости от мощности плазменной струи.

$P_{\text{стр}}$ – мощность плазменной струи, кВт; T – температура горения в реакторе.

Таблица 3.1. Результаты измерений

$P_{\text{стр}}$, кВт	T , °C
15	1143
20	1151
25	1148

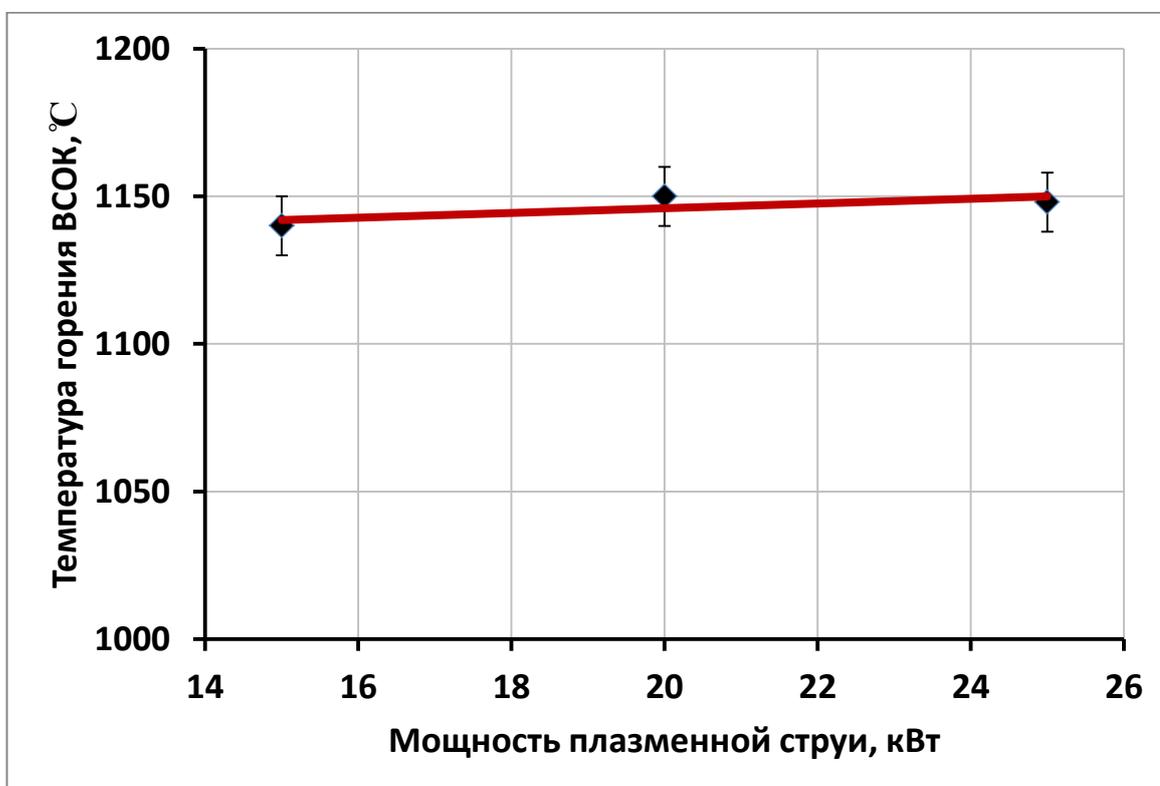


Рис. 3.1. Влияние мощности плазменной струи на температуру горения ВСОК в реакторе

Из рис. 3.1 видно, что повышение мощности плазменной струи очень слабо влияет на температуру горения ВСОК. Так как повышение мощности плазматрона влечет за собой увеличение затрат на электроэнергию, следовательно нет необходимости увеличивать мощность плазменной струи.

Из рис. 3.1 видно, что при мощности свыше 15 кВт плазматрон будет обеспечивать необходимую температуру горения ВСОК, равную ≈ 1150 К.

Влияние массовой доли воды в ВСОК на температуру горения в реакторе. Были получены следующие значения температур горения диспергированных ВСОК внутри реактора в зависимости от массовой доли воды в ВСОК.

C – содержание воды в ВСОК, % масс; T – температура горения ВСОК в реакторе, $^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3.2. Результаты измерений

$C, \%$	$T, ^{\circ}\text{C}$
50	1114
55	1143
60	1205
65	1127
70	796

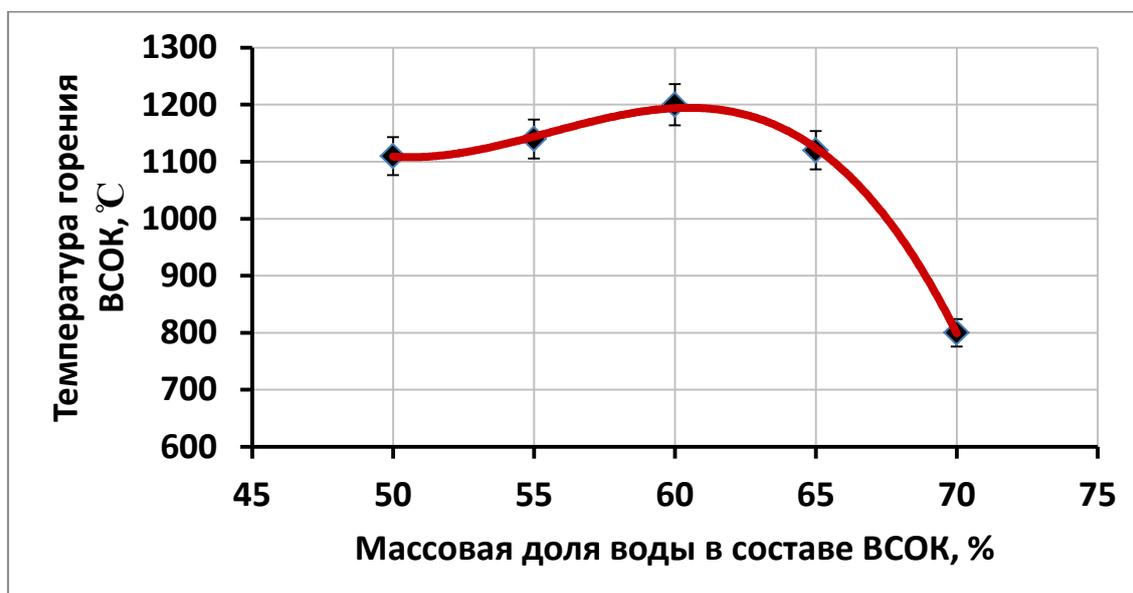


Рис. 3.2. Влияние массовой доли воды в ВСОК на температуру горения в реакторе

Из рис. 3.2 видно, что содержания воды в водно-солеорганической композиции сильно влияет на температуру ее горения в реакторе. Так, например, при высоком содержании воды (более 65%) температура горения

диспергированных капель ВСОК резко снижается. Из-за малого содержания спирта (ацетона) и большого содержания воды капли не успевают испариться из-за недостаточного количества подводимой тепловой энергии. При высоком содержании спирта (ацетона) в диспергированной композиции ВСОК и малом содержании воды композиция сгорает в условиях недостатка окислителя (кислорода воздуха и паров воды), из-за чего происходит задымленность воздушно-плазменного потока в реакторе. Из графика видно (рис. 3.2), что оптимальная величина содержания воды в ВСОК для процесса плазменной обработки диспергированной композиции составляет 60-65 %.

Влияние частоты вращения ротора форсунки на температуру горения ВСОК в реакторе . Были получены следующие значения температур внутри реактора в зависимости от частоты вращения роторной форсунки. N – скорость вращения ротора форсунки, об/мин; T – температура горения в реакторе, °С.

Таблица 3.3. Результаты измерений

N , об/мин	T , °С
10	654
20	863
30	1081
40	1143
50	1150

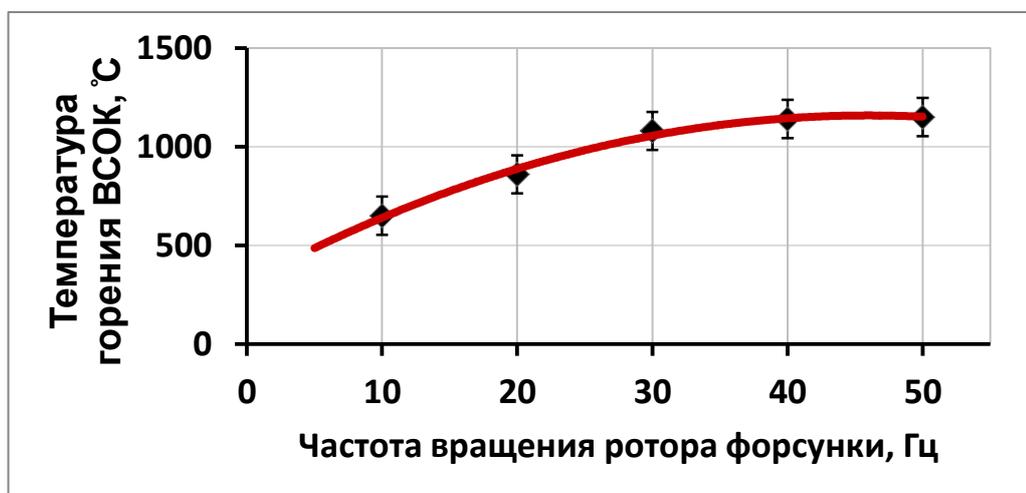


Рис. 3.3. Влияние частоты вращения ротора форсунки на температуру горения ВСОК в реакторе

Из рис. 3.3 видно, что при достижении определенной частоты вращения ротора дальнейшее повышение температуры горения ВСОК не происходит. Температура горения внутри реактора достигает значения ≈ 1200 °С и в дальнейшем не повышается. Можно сделать вывод, что при достижении определенной частоты вращения ротора температура горения принимает постоянное значение, а значит, дальнейшее повышение частоты вращения форсунки будет не целесообразным. Высокая частота вращения ротора требует больших энергетических затрат. В результате эксперимента показано, что нет необходимости постоянно увеличивать частоту вращения ротора форсунки.

3.3 Результаты экспериментов и их обсуждение

В результате экспериментов были выявлены зависимости параметров ВЧФ-плазматрона и составов ВСОК от температуры горения ВСОК внутри плазменного реактора. Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что повышение мощности плазменной струи очень слабо влияет на температуру горения ВСОК, из-за этого нецелесообразно повышать мощность плазменной струи выше 15кВт. Было показано, что оптимальная величина содержания воды в ВСОК для процесса плазменной обработки является 60-65 %. Также, при достижении определенной частоты вращения ротора (40Гц) температура горения принимает постоянное значение, а значит, дальнейшее повышение частоты вращения форсунки будет не целесообразным.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование влияния начальных параметров воздушно-плазменного потока и капель диспергированных ВСОК, обладающих низшей теплотворной способностью, на интенсификацию процессов при их плазменной обработке.

На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Однако, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В данном разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-технического исследования.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе выполнения данной работы был проведен термодинамический анализ процесса плазменной обработки ВСО в виде оптимальных по составу ВСОК «ОВО + ацетон» и определены режимы работы системы «ВЧГ – ВЧФП», обеспечивающие их энергоэффективную обработку в воздушной плазме с получением в конденсированной фазе требуемых целевых продуктов.

Результаты нашей работы могут быть использованы для создания технологий и оборудования, предназначенных для переработки жидких отходов и синтеза мелкодисперсных порошков. Потенциальными потребителями могут являться корпорации «РОСАТОМ», занимающиеся производством МОКС-топлива; предприятия занимающиеся производством нанопорошков для различных целей; предприятия, в процессе деятельности которых накапливаются жидкие отходы (отходы нефтепереработки, отходы очистки воды, жидкие радиоактивные отходы и т.д.).

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Для сравнения выбраны два метода получения дисперсных порошков: плазма-химический (исследуемый нами) и золь-гель метод (K1). Золь-гель процесс – технология материалов, в том числе наноматериалов, включающая получение золя с последующим переводом его в гель, то есть в коллоидную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы.

Таблица 4.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	0,2	5	4	1	0,8
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	3	0,25	0,15
3. Энергосбережение	0,4	4	4	1,6	1,6
4. Надежность	0,1	5	5	0,5	0,5
5. Уровень шума	0,05	3	5	0,15	0,25
6. Безопасность	0,1	5	5	0,5	0,5
7. Потребность в ресурсах	0,1	5	3	0,5	0,3
Итого	1	32	29	4,5	4,1

Из представленной таблицы можно сделать вывод, что оба процесса одинаково эффективны, но все же золь-гель метод немного уступает плазменно-химическому. Основной акцент делается на разнице производительности этих двух процессов. Поэтому с точки зрения производительности исследуемый нами метод получения дисперсных порошков более эффективный. Также неоспоримым преимуществом выбранного нами процесса является его удобство в эксплуатации, требующее намного меньше средств и времени.

4.1.3. SWOT-анализ

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой технологии утилизации можно назвать следующие свойства и особенности:

- Одностадийность процесса;
- Малое время протекания процесса (десятые доли секунды);
- Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг;
- Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды;
- Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды;
- Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

- Опытное оборудование не является ядерно-безопасным;
- Отсутствие экономической мотивации у предприятий.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной технологии можно отнести:

- Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов;
- Появление дополнительного спроса на новую технологию;
- Внедрение исследованных методов интенсификации на предприятия.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

К угрозам по отношению к технологии можно отнести:

- Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций;
- Несвоевременное финансовое обеспечение.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Одностадийность процесса	Сл1. Опытное оборудование не является ядерно-безопасным
С2. Малое время протекания процесса (десятые доли секунды)	Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий к переходу на плазменную переработку промышленных отходов
С3. Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг	
С4. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды	
С5. Экологичность метода. При работе на установке не происходит загрязнения окружающей среды.	

Продолжение таблицы 4.2

С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.	
Возможности	Угрозы
В1. Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

Далее проведем поиск соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и построим итоговую матрицу SWOT – анализа. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.3 Итоговая матрица SWOT– анализа.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1.Одностадийность процесса</p> <p>C2. Малое время протекания процесса (десятыи доли секунды)</p> <p>C3. Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг</p> <p>C4. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды</p> <p>C5. Экологичность метода. При работе на установке, не происходит загрязнения окружающей среды.</p> <p>C6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Опытное оборудование не является ядерно-безопасным</p> <p>Сл2.Отсутствие экономической мотивации у предприятий</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.</p> <p>V2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>V1C1C2C3C4C5, V2C1C2C3C5. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность создания рынка по переработке жидких радиоактивных отходов и появление дополнительного спроса на продукты, которые появляются после переработки. Исследуемый метод является более экологичным, а также способствует быстрому времени протекания процесса.</p>	<p>V1Сл2, V2Сл1Сл2. Анализ показывает, что создание рынка появления дополнительного спроса могут существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, оказывающих инженеринговые услуги.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>У1С1С3С5, У2С1С3С5С6. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта, а именно использование экологически чистых технологий, одностадийность процесса и проведение экспериментов в строго ограниченном технологическом месте способствуют понижению процента угроз исследования.</p>	<p>Угрозы могут отрицательно сказаться на реализации данной установки в научно-исследовательской деятельности, так как малый спрос и появление более актуальных методик могут сыграть свою роль.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Экономическая часть настоящей работы включает в себя планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент, выполняющий научно-исследовательскую работу.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.4

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Моделирование технологического процесса на ПК	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр Руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ожi}$ – 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_{maxi} – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

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

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1,22$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	5
2	10	15	12	Б	12	15
3	5	7	5,8	Б	5,8	7
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
6	10	15	12	Б	12	15
7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
8	5	7	5,8	Б	5,8	7
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
10	6	10	7,6	Б	7,6	9
11	4	7	5,2	Б	5,2	6
Итого:			66,2		56,5 / 9,7	75

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Целью планирования бюджета для проведения НТИ является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение.

В формирование НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением независимо от источника финансирования. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Рассчитаем те, которые имеются в нашей работе.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

К категории материалов относят:

- сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, жидкости и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часа (16 часов), мощность

установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.5)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 100 \cdot 16 = 9280 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.6)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 16 = 230,4 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{м} = C_{эл} + C_{вд} , \quad (4.7)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{м} = (1 + k_{Т}) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.8)$$

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

$N_{расxi}$ – 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.);

$k_{Т}$ – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы.

$$Z_{м} = 9280 + 230,4 = 9510,4 \text{ руб.}$$

Транспортно – заготовительные расходы не учитывались, поэтому не было умножения на коэффициент $k_{Т}$.

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.7.);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада бакалавр берет заработную плату как инженер 1-го уровня, з/п – 9893 руб.; оклад руководителя - 26 300);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 4.7).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента, кандидата наук Z_{TC} составляет 26300 руб.);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , руб.	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	1090	9,7	10573
Инженер	9893	1,3	12861	410	56,5	23165
Итого $Z_{осн}$						33738

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

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

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 33738 = 9143 \text{ руб.}$$

4.3.4 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. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часа (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час.

Затраты на электропитание плазматрона считались выше и составляют 9510 руб.

Рассчитаем затраты на электроэнергию, потребляемую компьютером. Будем считать, что работа за компьютером занимала 74 дня по 4 часа в день.

Мощность, потребляемая компьютером равна примерно 0,4 кВт/ч.

$$C_{\text{комп}} = 5,8 \cdot 0,4 \cdot 4 \cdot 74 = 687 \text{ руб.}$$

Итого на накладные расходы:

$$C_{накл} = C_{плазм} + C_{комм} = 9510 + 687 = 10297 \text{ руб.}$$

4.3.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 с имеющимся оборудованием и расходными материалами, то в данном случае можно говорить, что затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10. – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	9510	Пункт 4.3.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	33738	Пункт 4.3.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	9143	Пункт 4.3.3
4. Накладные расходы	687	Пункт 4.3.4
5. Бюджет затрат НТИ	53078	Сумма ст. 1–8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 74

календарных дня, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 53078 рублей.

Эта сумма оправдывается перспективами применения плазменного метода, а также установки на его основе для проведения по переработке жидких радиоактивных отходов.

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования. Данный показатель можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1
1. Производительность	0,2	5
2. Энергосбережение	0,5	5
3. Надежность	0,2	4
4. Материалоемкость	0,1	4
ИТОГО	1	

$$I_{p-учн1} = 5*0,2 + 5*0,5 + 4*0,2 + 4*0,1 = 4,7$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [39].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [39].

Вредный производственный фактор – производственный фактор,

воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы [39].

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин [40].

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства [40].

Рабочие, служащие, инженерно-технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно-исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а так же использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические,

психофизиологические.

В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Пожарная опасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность
Работа с химическими реактивами	Химические вредные вещества	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

– Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

– Химические: вредные вещества (оксиды азота и углерода).

– Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности.

пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого

цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [41] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду

выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций (таб. 5.3).

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Вентиляция — процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Система вентиляции обеспечивает отток и приток воздуха в помещении. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных подвижных лопастей. Скорость потока воздуха через газоход (вентиляцию) равна 18,76 м/с.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными

требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [42] уровень шума компрессора не превышает 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [43]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ПЭВМ. Уровень шума ПЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [43].

Электро-магнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [44], предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [41] напряженность электромагнитного поля на расстоянии

50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [41] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения

человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

– термическое действие тока:

- появление на теле ожогов разных форм;
- перегревание кровеносных сосудов;
- нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

– электролитическое действие: расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма.

– биологическое действие:

- нарушение нормальной работы мышечной системы;
- возникновение произвольных судорожных сокращений мышц;
- нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

- электрические травмы – местное повреждение тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;
- электрические знаки – проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;
- металлизация кожи – возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;
- электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами;
- механические повреждения – проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты:

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [45]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сброкированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным

напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [46], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем. При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112.

Выводы

1. Проведен обзор и анализ физических методов интенсификации тепло- и массообменных процессов. По их результатам выбраны механический способ диспергирования роторными форсунками и математическая модель, описывающая диспергирование жидкости, в том числе в виде ВСОК с механическими примесями.

2. Проведен расчет и оптимизация процесса механического диспергирования ВСОК с использованием модельных жидкостей (вода, ацетон, этанол). Установлены закономерности влияния частоты вращения и температуры подогрева пленки жидкости в роторной форсунке на эффективность диспергирования жидкости. Определены оптимальные режимы диспергирования ВСОК.

3. В результате экспериментальных исследований подтверждены расчетные режимы диспергирования ВСОК.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании новых и модернизаций действующих установок для энергоэффективной плазменной утилизации промышленных отходов в воздушной плазме в виде диспергированных ВСОК.

Список литературы

1. Задорский В.М. Интенсификация химико-технологических процессов на основе системного подхода. К.: Тэхника, 1989. 208 с.
2. Городецкий И.Я., Васин А.А., Олевский В.М., Лупанов П.А. Вибрационные и массообменные аппараты / Под ред. В.М. Олевского. М.: Химия, 1980. 192 с.
3. Карпачева С.М., Рябчиков Б.Е. Пульсационная аппаратура в химической технологии. М.: Химия, 1983. 224 с.
4. Кардашев Г.А., Михайлов П.Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппараты. М.: Машиностроение, 1973. 223 с.
5. Вибрации в технике: Справочник. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавеландаю Мю: Машиностроение, 1981. 509 с.
6. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара / Под ред. В.В. Ключева. Кн. 2. М.: Машиностроение, 1978. 439 с.
7. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. Л.: Изд. ЛГУ, 1982. 280 с.
8. Зарембо Л.К., Тимошенко В.И. Нелинейная акустика. М.: Наука, 1967. 379 с.
9. Бергман Л. Ультразвук: Пер. с нем. М.: Издательство, 1957. 726 с.
10. Источники мощного ультразвука / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1967. 379 с.
11. Донской А.В., Келлер О.К., Кратыш Г.К. Ультразвуковые электротехнологические установки. Л.: Энергия, 1968. 276 с.
12. Лепендин Л.Ф. Акустика. М.: Высшая школа, 1978. 448 с.
13. Скучик Е. Основы акустики: Пер. с англ. Т. 2. М.: Мир, 1976. 342 с.
14. Зарембо Л.Н. Красильников Е.А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966. 319 с.
15. Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1968. 267 с.
16. Прикладная электрохимия / Под ред. Н.Т. Кудрявцева. М.: Химия, 1975. 551 с.

17. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников / А.В. Нетушил, Б.Я. Жуковицкий, В.Н. Кузин и др. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 480 с.
18. СВЧ-энергетика: Пер. с англ. / Под ред. Э. Окресса. Т. 2. Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности. М.: Мир, 1971. 272 с.
19. Советов Н.М. Техника сверхвысоких частот. М.: Высшая школа, 1976. 184 с.
20. Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т. II. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 577с.
21. Брилл Т. Свет: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 304 с.
22. Козенин В.В., Усольцев И.Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1985. 264 с.
23. Миладель Г. Электрофизика: Пер с нем. М.: Мир, 1972, 608 с.
24. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Новосибирск: Наука, 1970. 659 с.
25. Лоудсон Р. Квантовая теория света: Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 488 с.
26. Ракобольская И.В. Ядерная физика. М.: Изд. МГУ, 1971. 295 с.
27. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология: Пер. с нем. М.: Энергия, 1980. 528 с.
28. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. Пер. с нем. М.: Наука, 1986. 205 с.
29. Федоткин И.М., Фирисюк В.Ф. Интенсификация процессов в аппаратах химических производств. Киев: Техника, 1971. 215 с.
30. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. – М.: Наука, 1982. – 472 с.
31. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 471 с.
32. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 319 с.
33. Бородин В.А. и др. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1967г.

34. Ластовцев А.М. Уравнение дробления жидкости вращающимися распылителями. Труды МИХМ, т. в. н., 1957.
35. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В., Ягодкин В.И. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1977.
36. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкости. М.: Химия, 1984.
37. Лебедюк Г. К. и др. Распыливающие устройства в аппаратах газоочистки. М., ЦИНТИХИМнефтемаш, 1976.
38. Лышевский А.С. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1977.
39. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5.
40. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М.: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7/
41. Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. – 216 с.
42. Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.
43. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
44. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13, 2000 г.
45. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. –Изд. 2-е, доп. И перераб. –М.: Наука, 1972. – 720с.
46. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.