

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
Моделирование процессов дегидратации и денитрации уранилнитрата гексагидрата в реакторе получения порошка триоксида урана

УДК 661.87.093.48.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бутов В.Г.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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, оформление 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.

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

Институт ФТИ
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Шаманин И.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич

Тема работы:

Моделирование процессов дегидратации и денитрации уранилнитрата гексагидрата в реакторе получения порошка триоксида урана	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№ 769/с от 13.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Будут исследованы процессы дегидратации и денитрации уранилнитрата гексагидрата при тепловом воздействии продуктов сгорания смеси пропана и бутана в реакторе получения порошка триоксида урана
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Обзор литературы и анализ применяемых способов дегидратации и денитрации уранилнитрата гексагидрата; – Анализ процесса денитрации в пламенной горелке, предлагаемой технологией COMUREX; – Изучение методов математического моделирования, используемых при разработке технических решений по созданию устройства дегидратации и денитрации плава уранилнитрата гексагидрата пламенным методом; – Выбор типа форсунки для диспергирования плава уранилнитрата гексагидрата в рабочую зону реактора для получения порошков триоксида урана и закисиоксида урана; – Экономическое обоснование проведения НИР; – Выводы по работе. Заключение;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Профессор кафедры «Техническая физика» Бутов В.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры «Менеджмента» Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.05.2017 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТФ ФТИ	Бутов В.Г.	д.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Прядко А.С.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры «менеджмента»	Е.В. Меньшикова	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич

Институт	ФТ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	- вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); - опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	- электробезопасность; - пожаро- и взрывобезопасность; - требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	- действие факторов на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); - пожаро- и взрывобезопасность (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 ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Д	Прядко Артем Сергеевич.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 87 страниц, 26 рис., 16 табл., 10 источников, 42 формулы.

Ключевые слова: моделирование, гексагидрат уранилнитрат, денитрация, дегидратация.

Объектом исследования является процесс дегидратации и денитрации уранилнитрата гексагидрата.

Цель работы – изучение методов математического моделирования, используемых при разработке технических решений по созданию устройства дегидратации и денитрации плава уранилнитрата гексагидрата пламенным методом. Выбор типа форсунки для диспергирования плава уранилнитрата гексагидрата в рабочую зону реактора для получения порошков триоксида урана и закисиоксида урана.

В работе проведен обзор применяемых способов денитрации, выполнен анализ их достоинств и недостатков.

В процессе исследования был проведен анализ процессов денитрации в пламенной горелке, предлагаемой технологией COMUREX

В результате исследования определены оптимальные способ и направление подачи плава в реактор.

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

ГГУН – гексагидрат уранилнитрат

ЦБФ – центробежная форсунка

РТД – реактор термической денитрации

СПБ – смесь пропана и бутана

ТБФ – трибутилфосфат

ДУА – диуранат аммония

ТЭН – теплоэлектронагреватель

Оглавление

РЕФЕРАТ	7
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	8
Введение.....	11
1 Получение оксидов урана из уранилнитрата	13
1.1 Плазменный процесс разложения нитратных растворов урана на оксиды урана и азотную кислоту	16
2 Разработка конструкций устройства пламенного горения и диспергирования концентратов уранилнитрата	20
3 Размеры капель гексагидрата уранилнитрата, распыляемого в реактор термической денитрации	26
4 Модель закрученного двухфазного турбулентного течения.	28
5 Моделирование совместной работы горелки и реактора, работающих по технологии COMUREX	34
5.1 Моделирование горения смеси пропана и бутана (СПБ) и взаимодействие продуктов горения с каплями плава для случая горелки и реактора, работающего по технологии COMUREX	34
6 Моделирование совместной работы горелки ГГВ – МГП- 10 и реактора.	43
6.1 Предложения по выбору конструкции реактора	53
7 Определение распыла центробежной форсунки.....	55
7.1 Расчет угла распыла ЦБФ.....	56
7.2 Дисперсность капель в факеле распыла струйной форсунки.....	58
8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	61
8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	61
8.1.2. Анализ конкурентных технических решений	62
8.1.3 SWOT-анализ.....	63
8.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	65
8.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	65
8.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР	66
8.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	67
8.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	69
8.3.1 Основная заработная плата исполнителей темы	70

8.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	72
8.3.3 Накладные расходы.....	72
8.3.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	73
8.4 Определение ресурсоэффективности исследования	74
9 Социальная ответственность	76
9.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	76
9.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПЭВМ.	77
9.2.1 Организационные мероприятия.....	78
9.2.2 Технические мероприятия.....	78
9.2.3 Условия безопасной работы.....	80
5.3 Электробезопасность	83
9.4 Пожарная и взрывная безопасность.	84
Заключение	86
Список литературы	87

Введение

Одним из способов получения триоксида урана является термическое разложение гексагидрата уранилнитрата. В своем топливном цикле уран может проходить через соединение UF_4 , которое используют для двух целей. С помощью тетрафторида урана можно получить металлический уран для подачи в реакторы на природном уране. Он также дает возможность получить гексафторид UF_6 , который является сырьевым материалом для обогатительных установок на основе газовой диффузии или центрифугирования.

Превращение урана в UF_4 требует стадий очистки, поскольку концентраты урана, поступающий на очистительные заводы, все еще содержат много примесей. Во время этой стадии очистки концентрат урана растворяют в азотной кислоте для того, чтобы получить нечистый уранилнитрат, который очищают трибутилфосфатом (ТБФ). ТБФ позволяет экстрагировать чистый уранилнитрат из кислотного раствора.

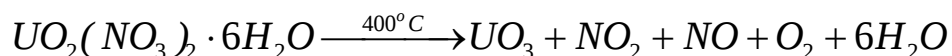
При наличии чистого урана в состоянии нитрата в водном растворе, необходимо выделить его в твердой форме, чтобы превратить в тетрафторид или металл в соответствии с потребностью в диоксиде. Поскольку уран присутствует в валентности VI, необходимым промежуточным продуктом будет триоксид UO_3 . Путем восстановления его можно перевести в UO_2 , и затем под действием фтористоводородной кислоты получить UF_4 .

Существуют два способа перехода от уранилнитрата в растворе к оксиду UO_3 . Первый способ состоит в добавлении аммиака с целью получения путем осаждения диураната аммония (ДУА), который термически разлагают в UO_3 . Второй способ заключается в термическом разложении уранилнитрата после дегидратации.

Источником теплового воздействия на частицы диспергированного гексагидрата уранилнитрата являются газообразные продукты ("дымовые" газы), образующиеся после горения пропан-бутановой смеси в воздухе. В результате их взаимодействия происходит ступенчатая дегидратация с образования триоксида урана.

1 Получение оксидов урана из уранилнитрата

Технологическая схема получения триоксида урана из растворов состоит из двух операций: а) выпаривание растворов до концентрации, соответствующей гексагидрату $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$; б) дальнейшее прокаливаниe гексагидрата уранилнитрата, при котором происходит ступенчатая дегидратация с образованием триоксида:



Ход разложения уранилнитрата при непрерывном повышении температуры зависит от внешнего давления. Денитрация в вакууме протекает быстрее, чем при атмосферном давлении. При меньших скоростях нагрева уранилнитрат разлагается при более низкой температуре.

Оптимальной температурой разложения уранилнитрата считается $400^\circ C$, так как выше $430^\circ C$ триоксид урана начинает отщеплять кислород. Следует считаться также с тем, что при низкой температуре получается более реакционноспособный триоксид урана, легче перерабатываемый на диоксид, а затем на тетрафторид урана. Поэтому процесс термического разложения уранилнитрата проводят при $400\text{--}450^\circ C$.

Вначале для денитрации использовались котлы-денитраторы с мощными мешалками якорного типа. Затем с целью интенсификации процесса денитрации стали проводить в аппаратах кипящего слоя. Раствор уранилнитрата, упаренный до содержания 70–100% гексагидрата, впрыскивается форсунками в аппарат кипящего слоя, который создается на основе частиц триоксида урана под действием воздушного дутья (рис. 1).

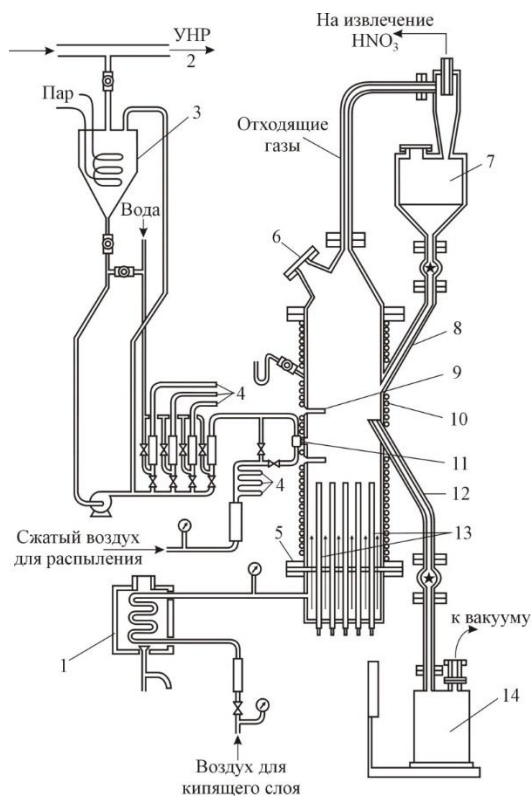


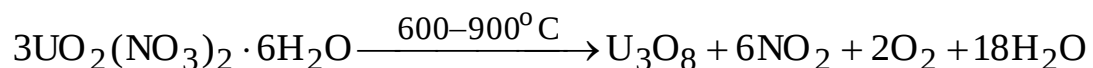
Рисунок 1 – Денитратор кипящего слоя.

1 – подогреватель воздуха; 2 – трубопровод для подачи раствора уранилнитрата; 3 – бак для уранилнитрата; 4 – трубопроводы к соплам; 5 – воздухораспределительная решетка; 6 – смотровое окно; 7 – бункер для улавливания порошка; 8 – труба для возврата улавливаемого порошка; 9 – гнезда для термопар; 10 – внешние нагреватели (42 шт.); 11 – распылительные сопла (4 шт.); 12 – линия вывода триоксида урана; 13 – внутренние нагреватели (18 шт.); 14 – сборник продукта.

По мере термического разложения уранилнитрата вновь образующийся триоксид урана постепенно заменяет первоначально загруженный. Необходимая температура создается с помощью теплоэлектронагревателей (ТЭНов), расположенных снаружи и внутри корпуса аппарата. Готовый продукт разгружается из верхней части аппарата через спускную трубу, а газообразные продукты реакции очищаются от пыли в циклоне. В аппарате кипящего слоя

получается порошок с насыпным весом 4,3 г/см³, содержащий 99,4% UO₃, 0,1% U₃O₈, 0,5% NO₃, 0,15 % H₂O.

Если денитрацию проводить при 600–900°C, то получается закись-окись урана



Остаточное содержание нитрат-иона и воды в триоксиде урана зависит от температуры кипящего слоя. Гранулометрический состав триоксида урана определяется температурой кипящего слоя и концентрацией уранилнитрата в питающем растворе. В начале работы частицы триоксида урана укрупняются или за счет цементации их каплями питания в агрегаты, или за счет укрупнения отдельных частиц при разложении на их поверхности уранилнитрата. Но затем гранулометрический состав триоксида урана стабилизируется, скорости укрупнения и измельчения частиц выравниваются.

Максимальный размер частиц наблюдается при наиболее концентрированном питании. Уменьшение температуры кипящего слоя приводит к некоторому измельчению частиц триоксида, что объясняется проникновением воды в поры агрегатов и последующим разрывом агрегатов; при более высокой температуре разложение уранилнитрата протекает лишь по поверхности оксида.

Вследствие разложения уранилнитрата на поверхности и в порах триоксида урана процесс в кипящем слое выгодно отличается от других меньшей коррозией аппаратуры и меньшим загрязнением готового продукта.

1.1 Плазменный процесс разложения нитратных растворов урана на оксиды урана и азотную кислоту

Брутто-схема разложения нитратных растворов уранила при взаимодействии с плазменным теплоносителем на оксиды урана и азотную кислоту показана на рисунке 2.

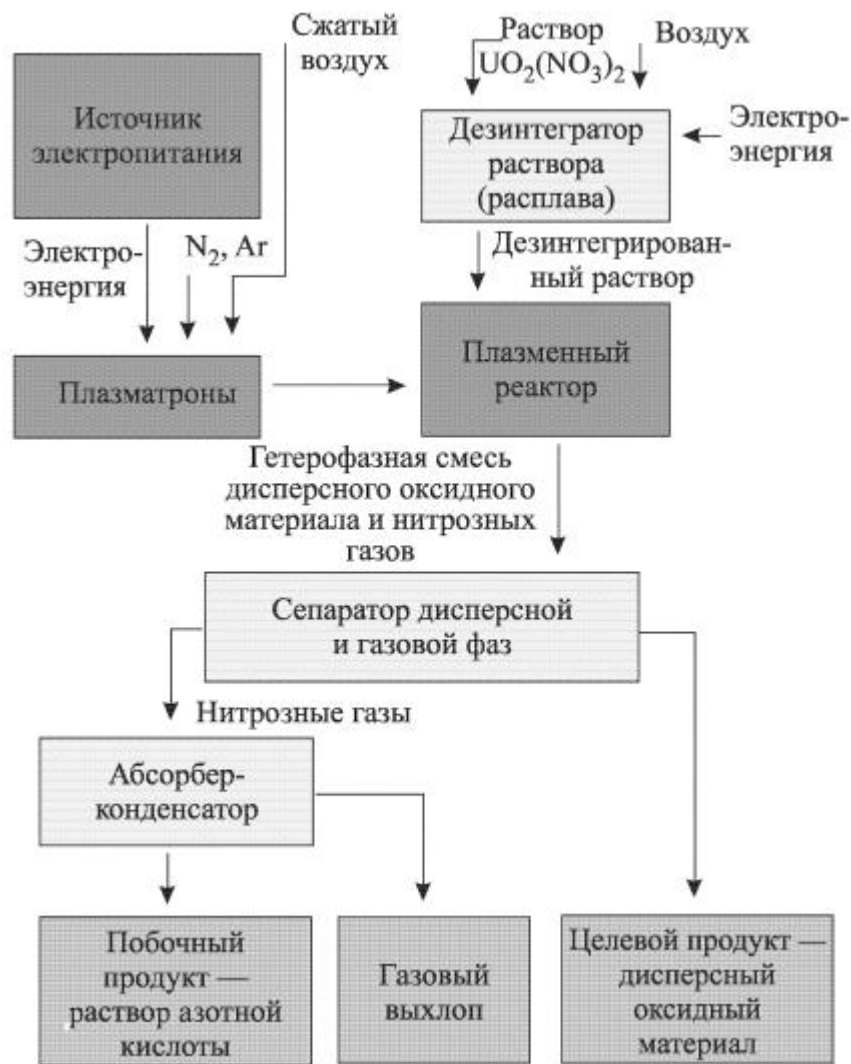
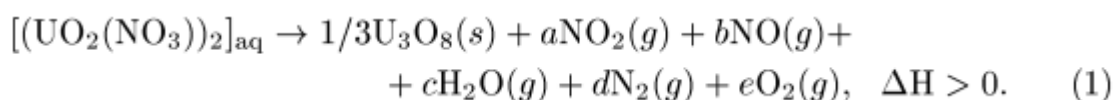


Рисунок 2 – Брутто-схема разложения нитратных растворов уранила на оксиды урана и азотную кислоту

В соответствии с этой схемой в плазменном реакторе, представляющем собой изделие цилиндрической, конической или более сложной формы,

снабженное водяным или газовым поверхностным охлаждением, встречаются два потока: поток предварительно дезинтегрированного (распыленного на капли) раствора и поток плазмы, химически совместимой с этим раствором. Оба потока равномерно перемешиваются в реакторе, при этом каждая капля раствора нагревается до кипения, из нее испаряется растворитель (в данном случае вода) до образования солевого остатка, последний быстро нагревается до высокой температуры; одновременно с нагревом протекает разложение до образования оксида находящегося в растворе металла и газовой фазы, содержащей оксиды азота, водяной пар, азот и кислород. Сам процесс разложения раствора применительно к урану в общем виде схематически описывается брутто-уравнением



Технологическая схема имеет следующие основные аппаратные элементы.

1. Источник электропитания плазмотрона (выпрямитель с системой автоматического регулирования тока, высокочастотный или сверхвысокочастотный генератор и т.п.).

2. Плазмотрон, в котором поток химически совместимого с раствором газа (в случае разложения нитратов воздух или его компоненты: азот, кислород, в зависимости от валентности выделяемого металла) превращается в поток низкотемпературной плазмы. При использовании в качестве плазменного теплоносителя воздуха или азота можно, в некоторых случаях, совместить процесс разложения нитратного раствора на оксиды с процессом расширенной регенерации азотной кислоты.

3. Плазменный реактор, где перемешиваются потоки плазмы и раствора и происходит разложение раствора (по уравнению 1). Как уже было сказано,

плазменный реактор это – охлаждаемое изделие цилиндрической или конической формы, снабженное, как правило, несколькими плазматронами и одним или несколькими дезинтеграторами раствора. При использовании нескольких плазматронов и дезинтеграторов очень интенсифицируются процесс смещения и процессы тепло- и массообмена при взаимодействии капель раствора с высокотемпературной средой.

4. Сепаратор, в котором проводится разделение дисперсной и газовой фаз; после сепаратора возникают два материальных потока: поток дисперсного оксидного материала, являющегося целевым продуктом, и поток газовой фазы, содержащей, как видно из уравнения 1, оксиды азота, водяной пар, азот и кислород.

5. Конденсатор-абсорбер. В конденсаторе производится принудительная конденсация водяного пара и частичная абсорбция оксидов азота, а в абсорбере – рекомбинация и поглощение азотной кислоты. В результате из установки выходит поток побочного продукта – раствора азотной кислоты. В идеальном случае из установки должен выходить газовый выхлоп, содержащий азот и кислород, однако фактически требуется доочистка выхлопа от оксидов азота до санитарных норм.

Химический состав оксидного материала, его физические свойства, степень регенерации азотной кислоты и прочие параметры определяются в первую очередь режимом обработки раствора в плазме, а во вторую – режимом разделения дисперсной и газовой фаз. Процесс разложения капель нитратного раствора уранила по уравнению 1 аппроксимируется брутто-схемой на рис. 2, где показаны основные стадии превращения капли раствора в конечный продукт. Определение оптимального режима обработки дезинтегрированного раствора в плазме по математической модели представляет собой, фактически, разработку методологии расчета плазменного реактора и расчет оптимальной геометрии

последнего; под оптимальной геометрией понимается такое соотношение длины реактора L и его диаметра D , при котором достигается заданная степень разложения раствора на целевые продукты, а минимальные удельные энергозатраты сочетаются с максимальным энергетическим КПД процесса. Разработка методологии расчета процесса фактически сводится к его математическому моделированию, для чего требуется разделение брутто-процесса на стадии и математическое описание этих стадий.

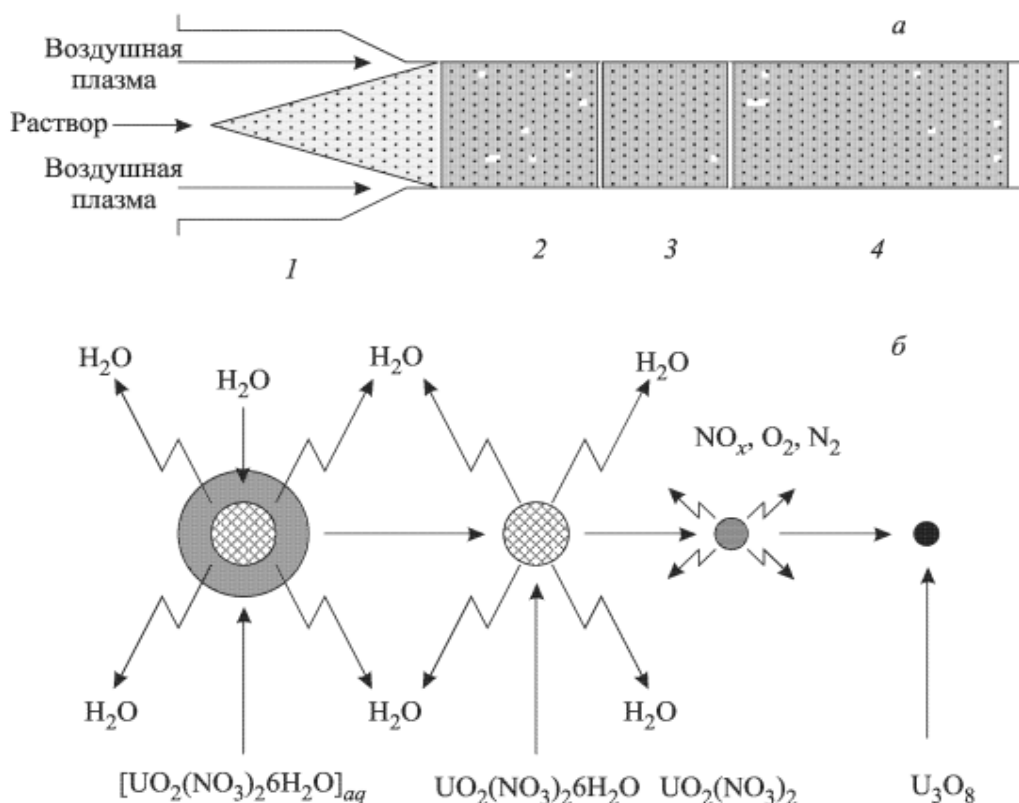


Рисунок 3 – Схема смешения потока дезинтегрированного нитратного раствора уранила с потоком воздушной плазмы (а) и схема разложения капли раствора до оксида урана (б): 1 – нагревание капли раствора до температуры кипения; 2 – испарение растворителя, образование ядра конденсированного гидратированного нитратного остатка $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$; 3 – нагревание и разложение солевого остатка $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$, образование U_3O_8 и газовой фазы; 4 – нагревание оксида урана.

2 Разработка конструкций устройства пламенного горения и диспергирования концентратов уранилнитрата

Установка пламенной денитрации концентратов (плава) уранилнитрата предназначена для проведения исследований по получению порошков оксидов урана, пригодных для переработки в действующей схеме сублиматного производства (с установкой на реактор действующей плазмохимической установки). Основные исходные требования к разработке изложены в техническом задании и сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Технические характеристики пламенной установки

№ п/п	Вид технологического параметра	Техническая характеристика
1	Расход концентрата (плава) уранилнитрата, л/ч	10-20
2	Концентрация урана в плаве, г/л	до 1200
3	Температура плава, °С	70-80
4	Расход пропана, кг/час ($\text{нм}^3/\text{ч}$)	до 10,0 (5,0)
5	Расход воздуха на горение, $\text{нм}^3/\text{ч}$	до 50
6	Температура в реакторе, °С	до 1000
7	Время непрерывной работы установки, ч	до 24
8	Режим работы установки	периодический

За основу технических решений было взято устройство, приведенное в описании пламенной горелки, заявленной в технологии COMUREX.

На рисунке 4 показана конструкция данной пламенной горелки.

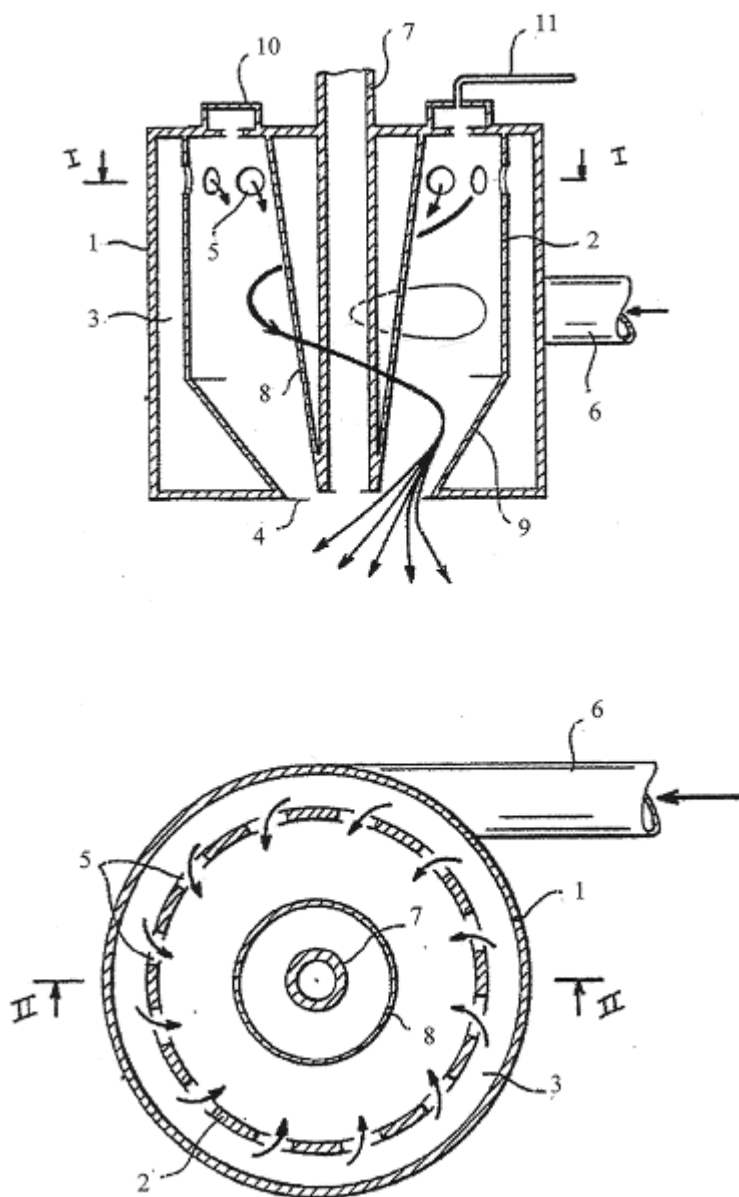


Рисунок 4 – конструкция пламенной горелки

Горелка представляет собой аппарат цилиндрической формы с расположенным в нижней части выходным отверстием 4, соединенным с входным отверстием пламенного реактора. Горелка имеет внутреннюю цилиндрическую обечайку 2, образующую вместе с наружной обечайкой 1, кольцевой канал 3. В верхней части обечайки 2 имеется ряд отверстий 5, равномерно расположенных по ее периметру. Отверстия 5 служат для равномерного распределения воздуха,

подаваемого через штуцер 6. Сжигание пропана происходит полностью внутри горелки, так что вводимый уранилнитрат не контактирует с пламенем.

Штуцер 7, по которому подается плав уранилнитрата, расположен внутри горелки (по ее оси), а его нижний торец размещен в плоскости выходного отверстия 4. Часть штуцера 7, находящегося внутри обечайки 2, снабжена наружным конусом 8, который вместе с конусом 9 образует сужающийся к низу кольцевой канал, в котором происходит движение по спирали продуктов сгорания пропана и воздуха. На плоской крышке внешней цилиндрической обечайки 1 расположена кольцевая камера 10, в которую через штуцер 11 подается пропан.

Пропан поступает в горелку под давлением 1.4 атм., а воздух, подаваемый воздуходувкой, имеет давление 0,3-0,6 атм. Сгорание пропана происходит полностью в горелке. Продукты сгорания (дымовые газы) имеют температуру около +1400 °С и скорость в отверстии 4 около 300 м/с. Штуцер 7, размещенный внутри горелки охлаждается водой.

Плав уранилнитрата, выходящий из штуцера 7 и контактирующий с продуктами сгорания пропана в кольцевом отверстии 4, мгновенно распыляется на мелкие капли. Смесь капель плава уранилнитрата и продуктов сгорания поступает в верхнюю часть реакционной трубы, где происходит процесс терморазложения. Компания Vicarb (Франция) обозначила процесс, протекающий в данном способе сушки, термином – “Izoflash-эффект”.

При расчете основных геометрических параметров нескольких вариантов устройства приняты следующие допущения:

- воздух, подаваемый тангенциальным образом в корпус горелки, проходя между стенками внешнего корпуса и внутренним корпусом горелки, нагревается до температуры 2000 °С. Расчет ведется для воздуха, т.е. не учитывается состав продуктов горения во внутреннем корпусе горелки;

- заданная температура на выходе из сопла горелки- 1000 °С;

- скорость газа на выходе - 300 м/с (согласно технологии COMUREX [1]);
- расход воздуха- 50 нм³/ч;
- расход пропана-10 нм³/ч.

Наиболее оптимальный вариант технического решения представлен на рисунке 5. На приведенном рисунке не показаны узлы подачи концентрата уранилнитрата, пропана, также не обозначены места расположения датчиков давления, расхода и температуры. Также не показаны устройства регулирования.

На рисунке 5 показано устройство с комбинированной системой охлаждения трубки подачи жидкого уранилнитрата: с системой водяного принудительного охлаждения нижней части трубки и с системой защиты от непосредственного термического воздействия нагретой стенки внутреннего корпуса горелки на верхнюю часть внешнего коаксиального патрубка системы водяного охлаждения. В данном варианте были учтены опасения Заказчика, касающиеся чрезмерного теплосъема с боковых стенок корпуса 10 при охлаждении водой, что может привести к чрезмерному снижению температуры выходящего из кольцевого сопла 7 газового потока (менее 1000 °С). Поэтому предложено локализовать область контакта охлаждающей воды со стенками корпуса 10 горелки. В таком варианте вместо простой воздушной защиты целесообразно в воздушную полость засыпать порошок оксидного порошка имеющего высокую температуру плавления, например, оксид алюминия.

Все основные элементы конструкции горелки оцифрованы на рисунке 5.

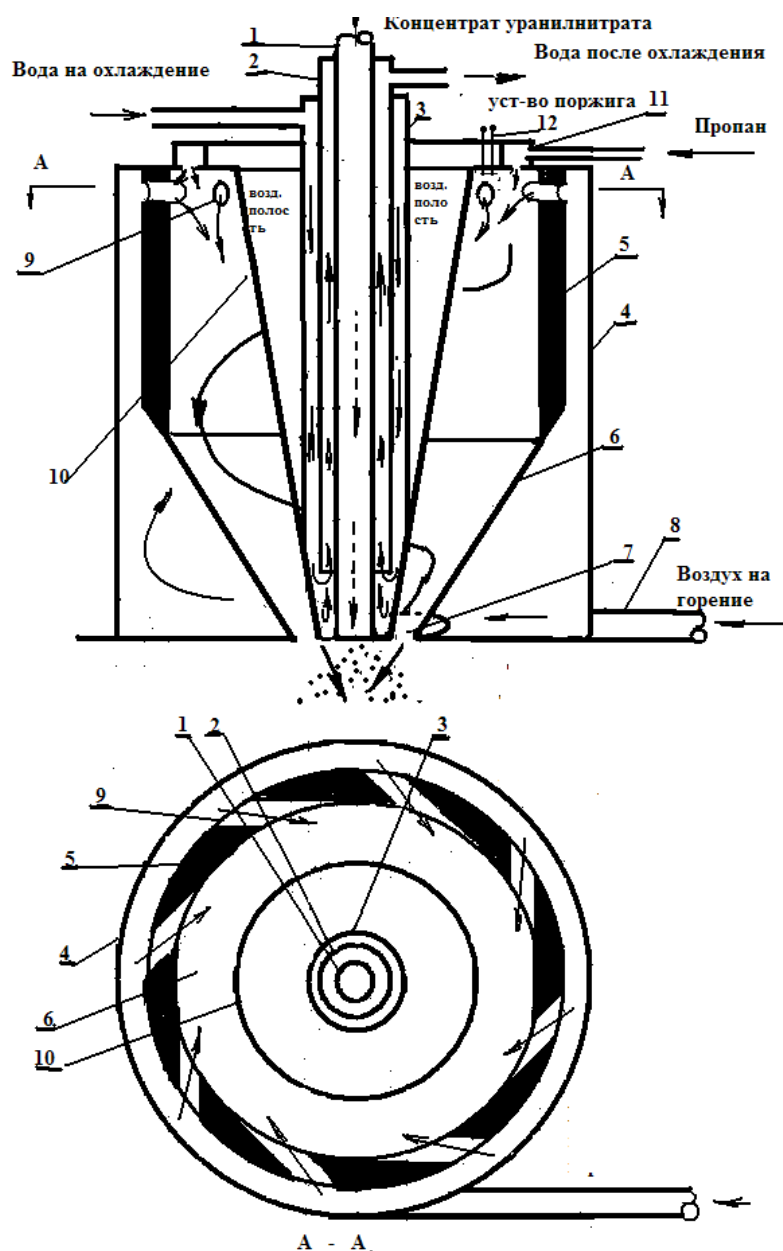


Рисунок 5 – Основные элементы горелки

1 – трубка подачи уранилнитрата; 2 – коаксиальный патрубок контура охлаждения трубки 1; 3 – внешний коаксиальный патрубок контура охлаждения трубки 1; 4 – корпус горелки; 5 – цилиндрическая часть внутреннего корпуса горелки; 6 – коническая часть внутреннего корпуса горелки; 7 – кольцевое сопло горелки; 8 – тангенциальное сопло подачи воздуха на горение; 9 – тангенциальные отверстия подачи воздуха; 10 – корпус горелки примыкающей к

патрубку подачи концентрата уранилнитрата; 11 – кольцевой коллектор подачи пропанбутановой газовой смеси; 12 – устройство поджига.

Принцип работы горелки аналогичен изложенному выше принципу работы пламенной горелки, заявленной в технологии COMUREX [1].

3 Размеры капель гексагидрата уранилнитрата, распыляемого в реактор термической денитрации

В распылительных реакторах, к которым относится и установка прямой термической денитрации водного раствора гексагидрата уранилнитрата, для диспергирования конденсированной фазы ее пропускают через тонкие отверстия. В этом случае различают два режима истечения дисперсной фазы – капельный (капли образуются непосредственно у отверстия) или струйный (образование капель происходит при распаде струи). Переход от капельного режима истечения к струйному режиму происходит при достижении критической скорости дисперсной фазы в отверстии. Для нее предлагается выражение

$$\omega_{кр} = \sqrt{0.64 \cdot \left(\frac{g \cdot \mu_d \cdot d_0}{\sigma} \right)^2 + \frac{3 \cdot \sigma}{\rho \cdot d_0 (1 + d_0 / \gamma)}} - 0.8 \cdot \frac{g \cdot \mu_d \cdot d_0}{\sigma} \quad (3.1)$$

где d_0 – диаметр отверстия; μ_d – вязкость дисперсной фазы; σ – поверхностное

натяжение: $\gamma = \sqrt{\frac{2\sigma}{g \cdot \Delta\rho}}$

При струйном истечении капли обычно имеют разные размеры, причем с увеличением скорости истечения распределение капель по размерам становится все более широким. Средний поверхностно-объемный диаметр капель с увеличением скорости истечения до некоторого предела падает, а затем начинает возрастать.

Средний размер капель при струйном истечении можно рассчитать лишь приближенно. При умеренной вязкости жидкостей принято использовать соотношение:

$$d = 1.92 d_{cm} \quad (3.2)$$

Для ориентировочного определения размера капель диаметр конца струи можно принять равным диаметру отверстия d_0 , из которого истекает струя. В действительности же происходит сужение струй, и размер капель меньше, чем следует из уравнения (3.2).

Диаметр отверстия для ввода жидкого гексагидрата уранилнитрата $d_0 = 0.8 \text{ см}$

Плотность, вязкость и коэффициент поверхностного натяжения ГГУН равны соответственно: $\rho_d = 2.4 \text{ г / см}^3$, $\mu_d = 19 \text{ сПз} = 19 \cdot 10^{-2} \frac{\text{дин} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$, $\sigma = 45 \frac{\text{дин}}{\text{см}}$

Для параметров ГГУН $\gamma = 0.196 \text{ см}$. Тогда критическая скорость согласно (3.1) $\omega_{кр} = 1.92 \text{ см / с}$.

При расходе дисперсной фазы 20л/час через отверстие $d_0 = 0.8 \text{ см}$ получим ее скорость истечения $\omega = 11.05 \text{ см / с}$. Таким образом, для струйного режима истечения диаметр капли равен 1.54 см

4 Модель закрученного двухфазного турбулентного течения.

При моделировании аэродинамических, физических и химических процессов, происходящих в области горения смеси пропана и бутана (СПБ) и процессов дегидратации/денитрации ГГУН, предполагается, что будет рассматриваться закрученное двухфазное турбулентное течение газа и полидисперсных частиц гексагидрата уранилнитрата в активной зоне пламенного реактора термической денитрации (РТД). При проведении параметрических расчетов был использован программный комплекс ANSYS CFX, где была построена и реализована необходимая конечно-объемная модель течения в РТД.

Построенная в рамках комплекса ANSYS CFX конечно-объемная модель течения, позволяет проводить комплексные расчеты закрученного течения реагирующей смеси в полной постановке. При этом учитывается пространственный турбулентный характер течения, многокомпонентность, процесс дегидратации и денитрации конденсированных частиц ГГУН, тепловые процессы в рабочей зоне РТД. Однако для таких полных расчетов необходимо привлечь большое количество исходной информации, прежде всего, для определения физико-химических зависимостей. Это зависимости теплоемкостей от температуры, теплоты образований соединений, участвующих в реакциях получения триоксида урана и др.

Обычно в подобных сложных расчетах, при недостаточном количестве указанной информации используют различного рода допущения и гипотезы, опирающиеся на имеющиеся либо прямые, либо косвенные экспериментальные данные.

Приведенные ниже уравнения модели течения и реализованные в комплексе ANSYS CFX, представлены во многих руководствах по гидродинамике, в частности, в [3-6]. Для описания турбулентного течения для

удобства изложения применим эйлеровы переменные x_i , $i=1,2,3$. Течение в данной точке пространства во времени характеризуется для газовой фазы вектором скорости $\vec{U}$ с компонентами u_i ($i=1,2,3$).

Течение также и характеризуется термодинамическими параметрами давлением, плотностью газовой смеси, температурой, концентрацией химических компонент.

Полидисперсный ансамбль капель характеризуются скоростями $\vec{V}_i$ с компонентами v_{ji} , $j=1,2,3$, температурой капель i -той фракции T_i , распределенной плотностью $\rho_{si} = n_{si}(\vec{x}, t)m_i$, где m_i – масса капель i -той фракции, n_{si} – концентрация капель i -той фракции.

При индексном обозначении подразумевается, что по повторяющимся индексам проводится суммирование, например

$$u_k u_k = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2$$

Имеет место следующее использование индексных обозначений для скалярных произведений вида

$$u_i \frac{\partial}{\partial x_i} = u_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial}{\partial x_3} = (\vec{U}, \Delta)$$

Анализ пламенного процесса дегидратации и денитрации конденсированных капель ГГУН с получением триоксида урана (UO_3) проводится на основе законов сохранения, используемых в газовой динамике и уравнений химической кинетики. Для этого к элементарному объему реагирующей смеси применяются законы сохранения массы, импульса, энергии и закон сохранения числа атомов.

Уравнение неразрывности для газовой фазы.

Уравнение неразрывности для осредненных по времени величин

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = J_{NO_x} + J_{O_2} + J_{H_2O} \quad (4.1)$$

Здесь ρ – плотность смеси газа, $\vec{V}$ – вектор скорости смеси газа с компонентами: u_1, u_2, u_3 ; $J_{NO_x}, J_{H_2O}, J_{O_2}$ – массовые скорости образования или исчезновения NO_x, O_2, H_2O .

Уравнение сохранения импульса.

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \sum_{j=1}^N C_{Rj} \rho_{sj} (v_{ij} - u_i) + \frac{\partial \tau_{ik}}{\partial x_k} \quad (4.2)$$

где p - давление, g_i - массовая сила в i -том направлении, в случае расчета в РТД $g_1 = g_2 = 0$, $g_3 = \rho g$, где g - ускорение силы тяжести; C_{Rj} - коэффициент силового взаимодействия между газовой фазой и каплями.

Тензор вязких напряжений без учета влияния градиентов давления имеет вид

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k},$$

где μ - коэффициент вязкости, зависящий от температуры и состава смеси; δ_{ij} - символ Кронекера ($\delta_{ij} = 1$ для $i = j$ и $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$).

Уравнение сохранения энергии.

$$\frac{\partial (\rho h_0 - p)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k h_0) = \frac{\partial}{\partial x_k} (u_i \tau_{ik}) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_k} \right) + \sum_{i=1}^N C_{Li} \rho_i (T_i - T) \quad (4.3)$$

$$h_0 = h + \frac{1}{2}U^2,$$

где: h_0 , h - полная энтальпия и энтальпия смеси; вязкости; T_i - температура капель i -той фракции; C_{Li} - коэффициент теплового взаимодействия между газовой фазой и каплями ГГУН.

Уравнение энергии для капель

i – той фракции, записанной вдоль траектории капель

$$m_i c_s \frac{dT_i}{dt} = C_{Li} (T_i - T) + l_m \frac{dm_i}{dt} \quad (4.4)$$

Здесь: m_i, c_s, l_m - масса, теплоемкость и удельная теплота капель; C_{Li} - коэффициент теплового взаимодействия между газовой фазой и каплями.

Энтальпия h смеси выражается через удельные энтальпии компонентов h_i , зависящие от температуры T , следующим образом

$$h = \sum_{i=1}^N Y_i h_i(T),$$

где Y_i - массовая доля i -того компонента смеси, а

$$h_i(T) = h_i^0 + \int_0^T c_{pi}(T) dT.$$

Здесь c_{pi}, h_i^0 - удельная теплоемкость и стандартная теплота образования i -того компонента смеси. Уравнение состояния смеси идеальных газов с молярной массой смеси (кажущейся)

$$p = \rho R T \sum_{i=1}^N \frac{Y_i}{M_i},$$

где M_i - молярная масса i -того компонента смеси, R - универсальная газовая постоянная.

Для описания турбулентного течения, способа определения эмпирических констант, а так же сравнения этой модели с другими двухпараметрическими моделями использована модель Д.К. Уилкокса. Модель, предложенная Д.К.Уилкоксом, называемая $k-\omega$ моделью определяется следующими двумя уравнениями.

Уравнение для энергии турбулентного перемешивания:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij}) - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) \quad (4.5)$$

Уравнение для удельной скорости диссипации:

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \omega) = \frac{\gamma \omega}{k} \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij}) - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right) \quad (4.6)$$

Здесь k - кинетическая энергия турбулентности, ω - частота турбулентных пульсаций. Турбулентная вязкость определяется при помощи соотношения

$$\mu_T = \gamma^* \frac{\rho k}{\omega}$$

В этих уравнениях имеется ряд коэффициентов. Д.К. Уилкоксом показано, что значения этих констант следующие:

$$\beta = 3/40, \beta^* = 9/100, \gamma = 5/9, \gamma^* = 1, \sigma = 0.5, \sigma^* = 0.5$$

Уравнение сохранения массы компонентов Y_k имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i Y_k - \rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right) = J_k, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (3.7)$$

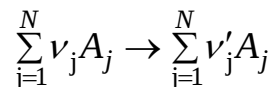
Здесь D - коэффициент молекулярной диффузии, J_k - массовая скорость образования (расходования) в ходе химической реакции.

Плотность молекулярного потока компонента смеси описывается законом Фика. Считая, что коэффициент диффузии D одинаков для всех компонентов смеси закон Фика имеет вид

$$\rho_k \eta_{ki} = -\rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_i},$$

где η_{ki} - скорость диффузии k -того компонента смеси в направлении оси координат i . Это допущение для многокомпонентной смеси оправдано тем, что в многокомпонентной смеси в активной зоне ПР массовая доля гексафторида урана более 80%.

Произвольная химическая реакция с обозначением символов реагирующих веществ A_j и стехиометрических коэффициентов ν_j и ν'_j записывается так



Массовая скорость R^{J_k} определяется уравнением

$$J_k = M_k (\nu'_k - \nu_k) \left(A T^\beta e^{-\frac{E}{RT}} \right) \prod_{i=1}^N c_i^{\nu_k^*} \quad (4.8)$$

Здесь E – энергия активации, A предэкспонент, M_k – молярная масса, $c_k = \rho Y_k / M_k$, β - показатель температуры. В условиях РТД температурные градиенты небольшие, поэтому $A T^\beta$ объединяются в одну константу, ν_k^* - порядок реакции по k -тому исходному реагенту.

5 Моделирование совместной работы горелки и реактора, работающих по технологии COMUREX

В процессе работы была разработана математическая модель, позволившая уточнить температурные параметры работы как в пламенной горелке, предназначенной для сжигания пропан-бутановой смеси, так и в реакторе, где происходит дегидратации и денитрации частиц $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$.

5.1 Моделирование горения смеси пропана и бутана (СПБ) и взаимодействие продуктов горения с каплями плава для случая горелки и реактора, работающего по технологии COMUREX

Ниже приводятся результаты моделирования, полученные для случая работы реактора, описанного в [1]. Далее будем для краткости называть его аппарат 1.

Поскольку для процесса денитрации представляет интерес температура продуктов сгорания СПБ, то для различных массовых расходов горючего газа Q_m в таблице 2 приведены значения температур на выходе горелки, при этом фиксированное значение расхода воздуха на горение СПБ составляло $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ при н.у.

Таблица 5.1 – Зависимость выходной температуры продуктов горения от массового расхода СПБ при фиксированном расходе воздуха $50 \text{ м}^3/\text{ч}$

Q_m СПБ кг/ч	Т выходная °С
2	968
2,5	1160
3	1320

3,55	1465
------	------

Конструкция аппарата 1 состоит в следующем: верхняя горелка (рисунок 5.1), в которую подаются воздух и горючий газ, образует продукты сгорания (преимущественно азот, пары воды и диоксид углерода), которые затем поступают в реактор для взаимодействия с частицами ГГУН. На данном рисунке представлено распределение температуры для расхода СПБ 3,55 кг/ч на 50 м³/ч воздуха.

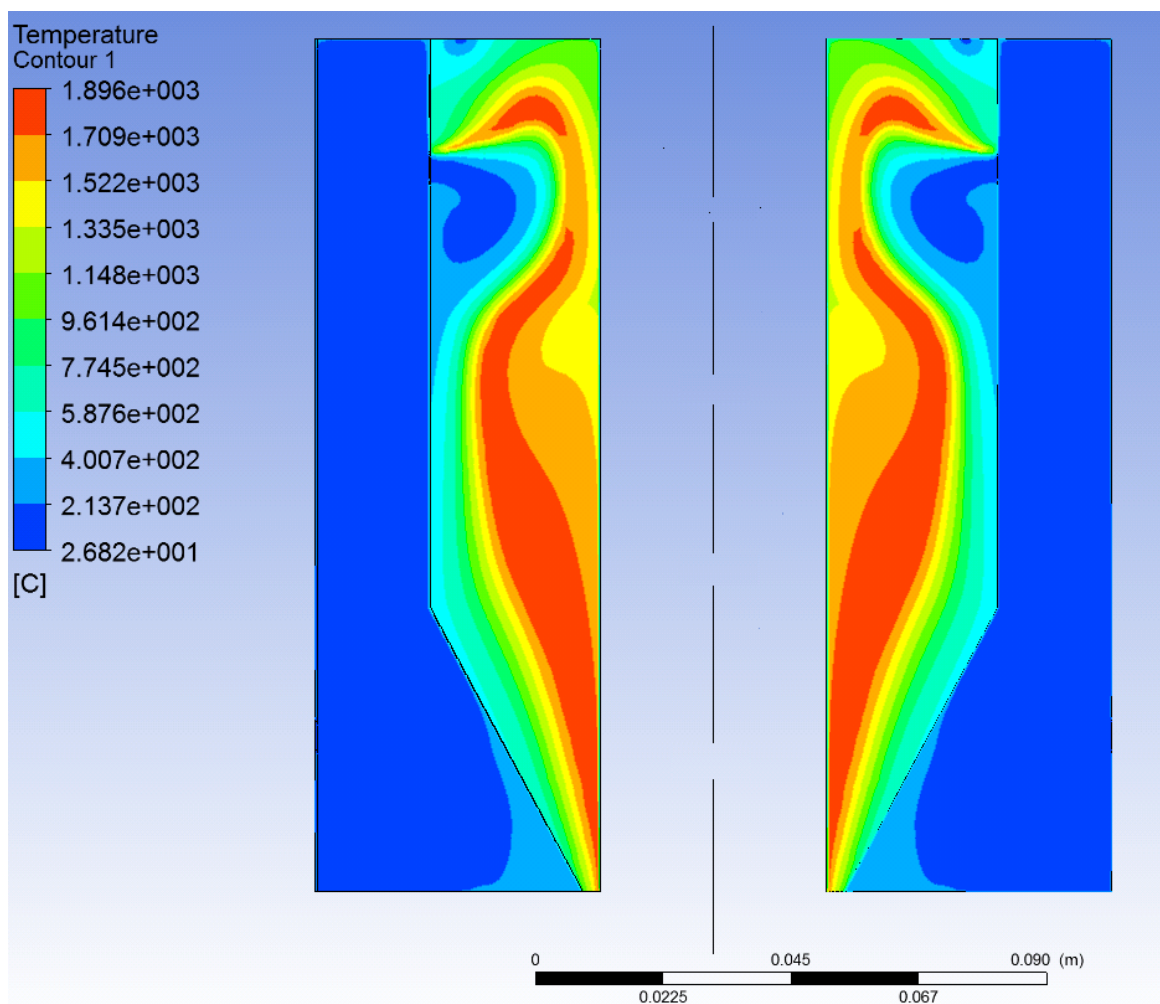


Рисунок 5.1 – Распределение температуры при горении пропан-бутановой смеси в воздухе.

При этом течение носит закрученный характер в силу особенностей конструкции камеры сгорания, в которой подача воздуха осуществляется в тангенциальном направлении.

В дальнейшем предполагается, что продукты сгорания, попадая в реакционную зону установки, смешиваются с частицами с дисперсностью 0,1-1 мм и продолжают движение уже в составе смеси. Дисперсность частиц при этом определению аналитическими методами не подлежит.

Поскольку предполагается, что высокая начальная скорость, заявленная в патенте, описывающем технологию COMUREX [1] идет в первую очередь на дробление капель, а в рассматриваемой модели дисперсность капель задается как параметр, то в данном отчете были рассмотрены различные варианты скорости подачи дымовых газов: 43 м/с (рисунки 5.1-5.3); 125 м/с (рисунки 5.4-5.6) (скорость варьировалась размером щелевого отверстия перехода горелка-реактор).

Основные геометрические размеры реакционной зоны, такие как диаметр реактора и его длина, считаются фиксированными и составляют $\varnothing 110$ мм и 1 м соответственно.

Полученная картина распределений температуры, траекторий движения частиц в реакционной зоне представлена на рисунках ниже (см. рисунки 5.1-5.6).

Данные результаты свидетельствуют, что во всех случаях характер закрученного течения приводит к отбрасыванию частиц на стенки. Можно с уверенностью говорить о том, что подобная картина будет наблюдаться для любой степени закрутки течения и для любого значения скорости продуктов сгорания на входе в реакционную область.

На рисунках 5.1, 5.2 показаны распределения температуры внутри расчетной области. Видно, что с увеличением скорости растет неравномерность температурного поля.

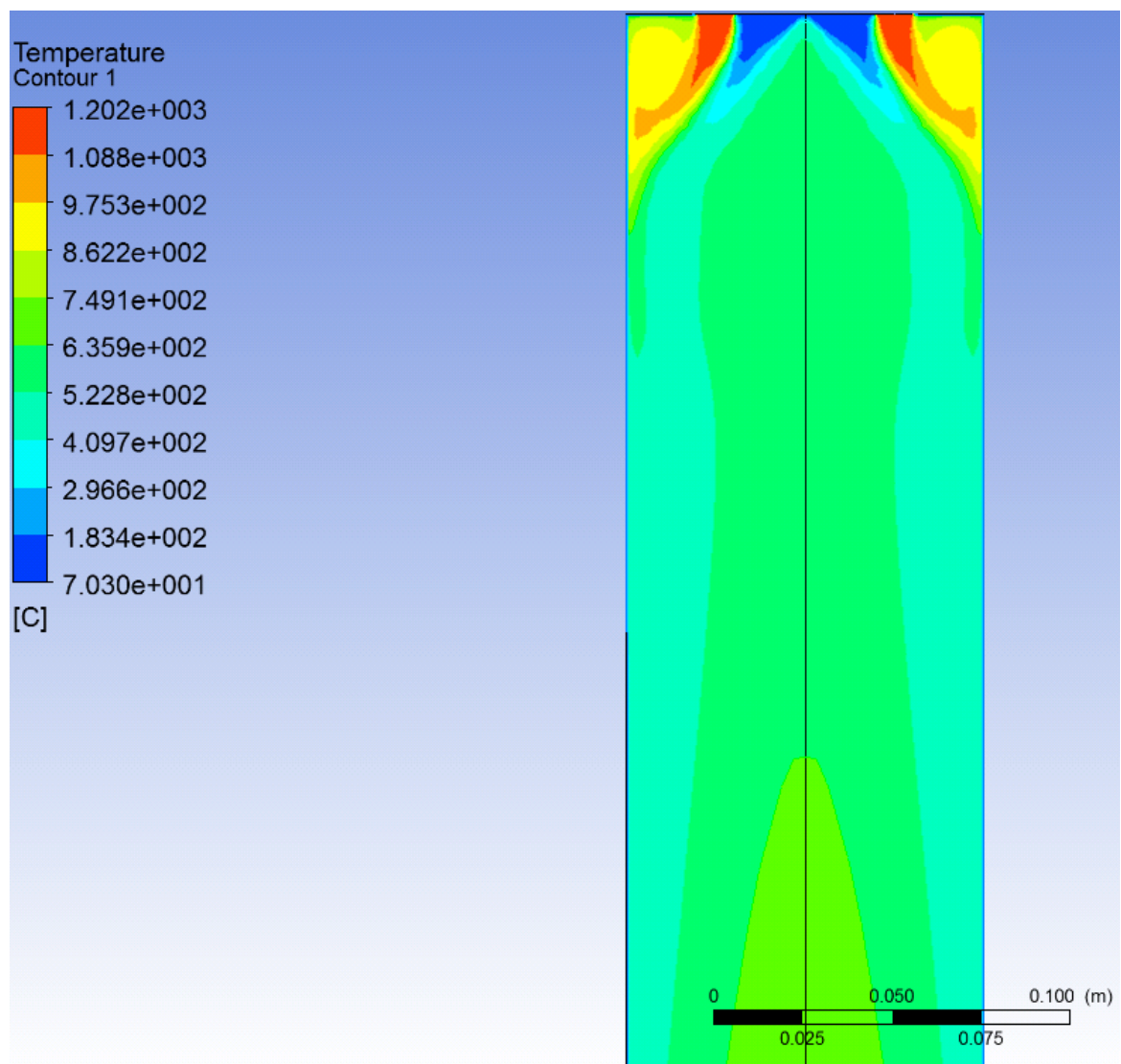


Рисунок 5.1 – Распределение температуры при скорости вдува газов 43 м/с

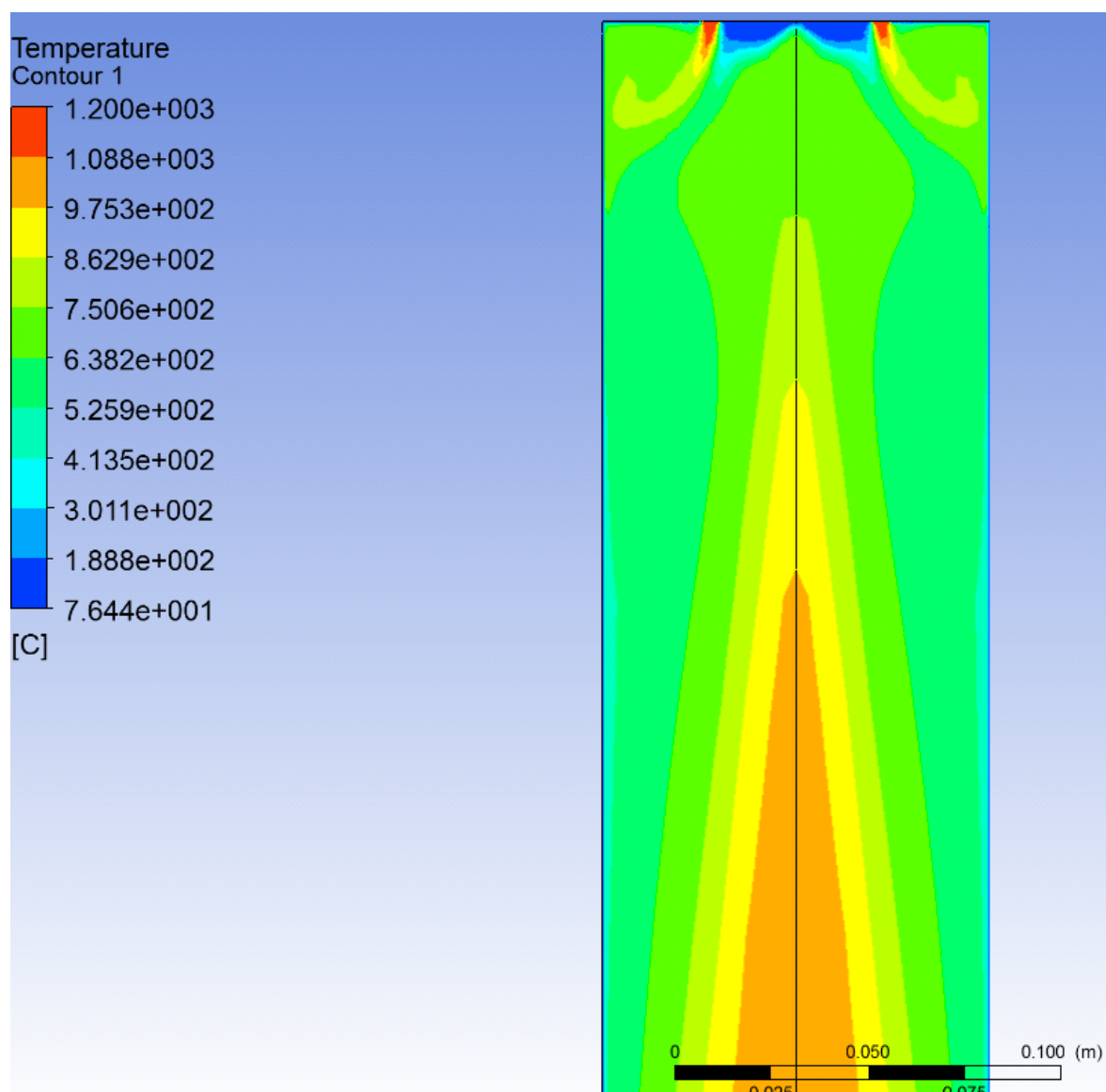


Рисунок 5.2 – Распределение температуры при скорости вдува газов 125 м/с

На рисунках 5.3, 5.4 показаны траектории движения частиц с указанием массовой доли воды в каплях плава. По данным рисункам можно проследить процесс удаления воды из капель плава.

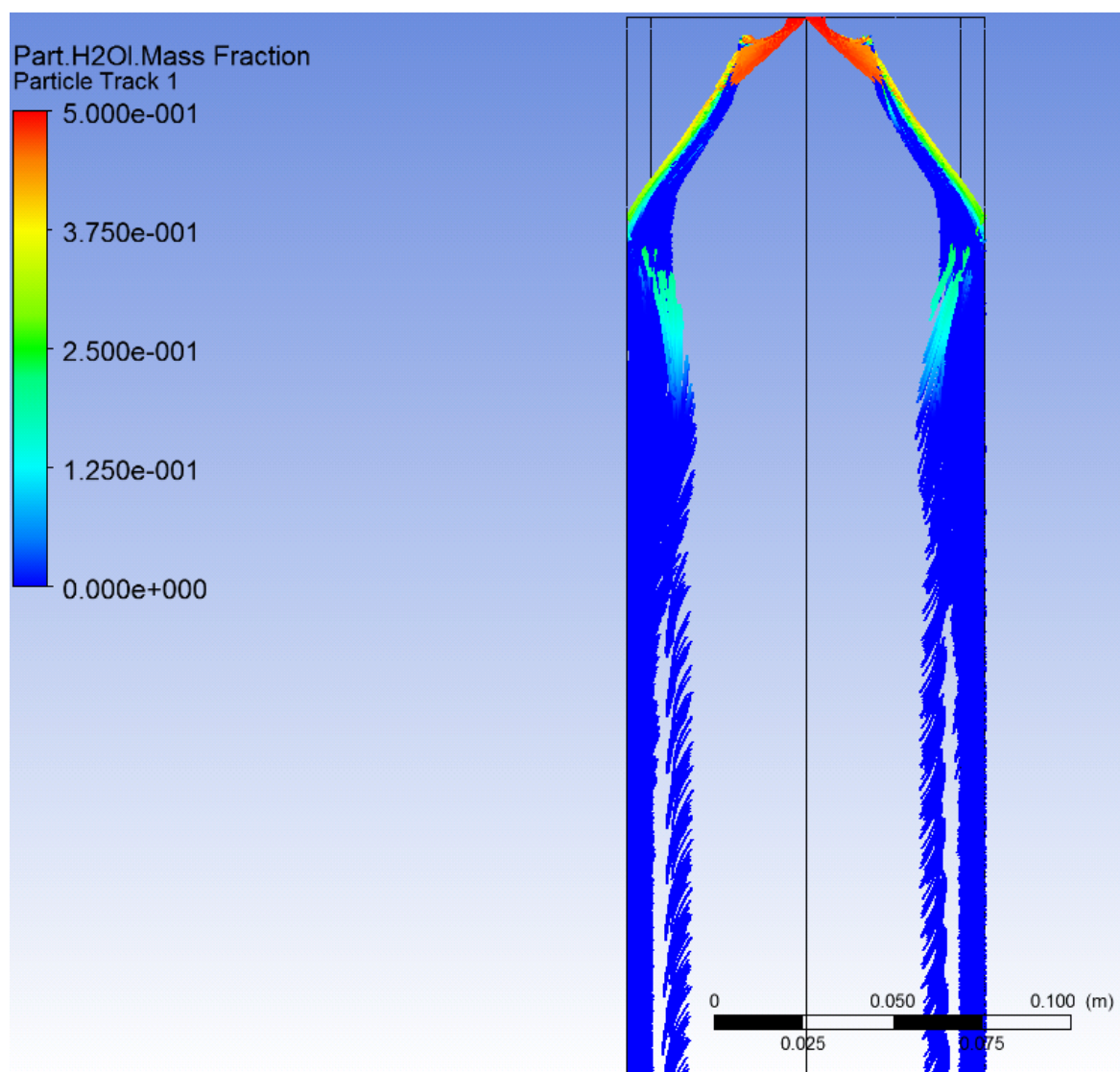


Рисунок 5.3 – Траектории частиц с указанием доли воды в частице при скорости вдува газов 43 м/с

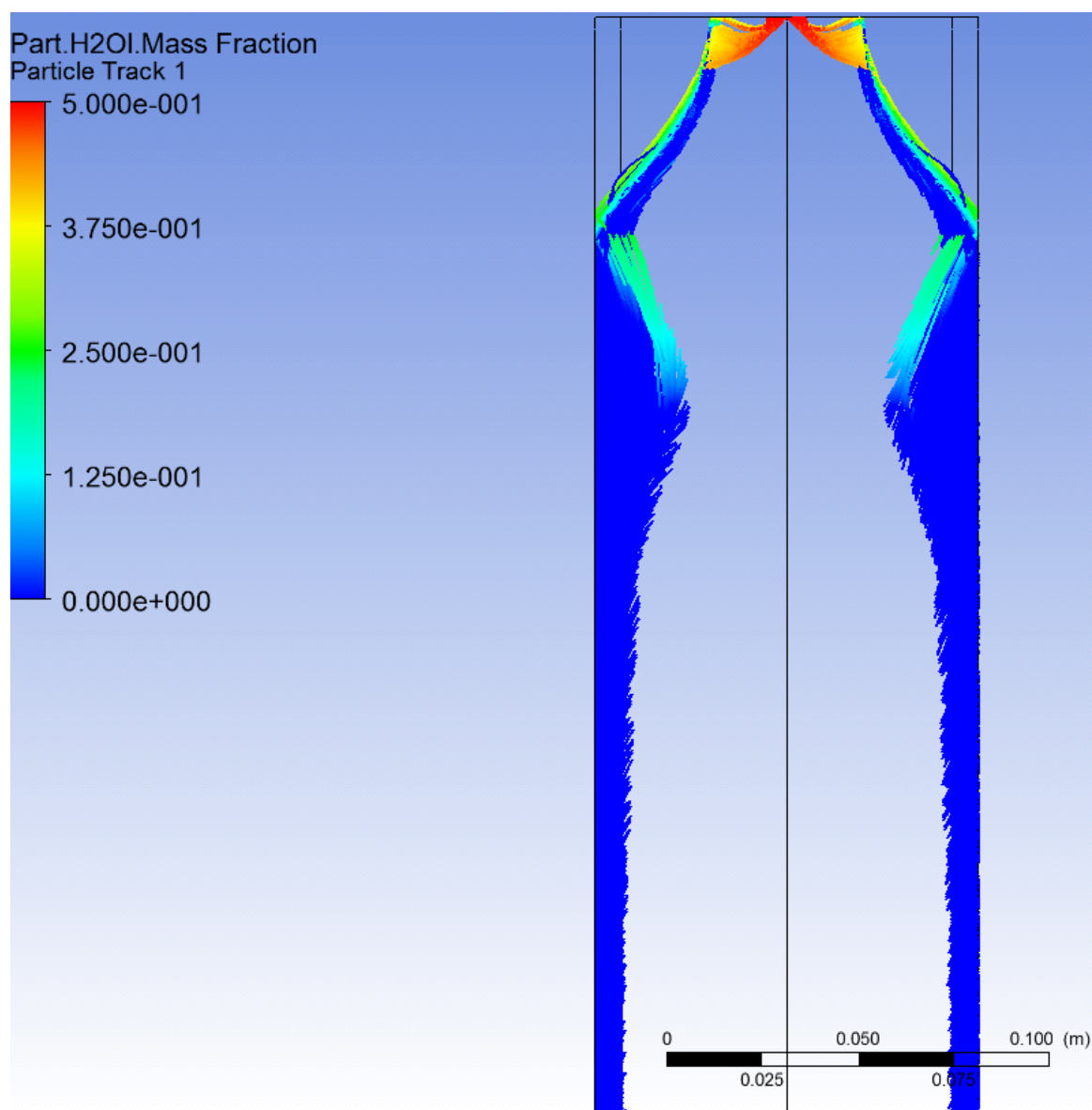


Рисунок 5.4 – Траектории частиц с указанием доли воды в частице при скорости вдува газов 125 м/с

На рисунках 5.5, 5.6 показаны траектории движения частиц с указанием температуры капле плава. До тех пор, пока в капле присутствует вода, температура ее сохраняется, не превышая 80-130° С. Дальше происходит нагрев уранилнитрата для инициации процесса денитрации.

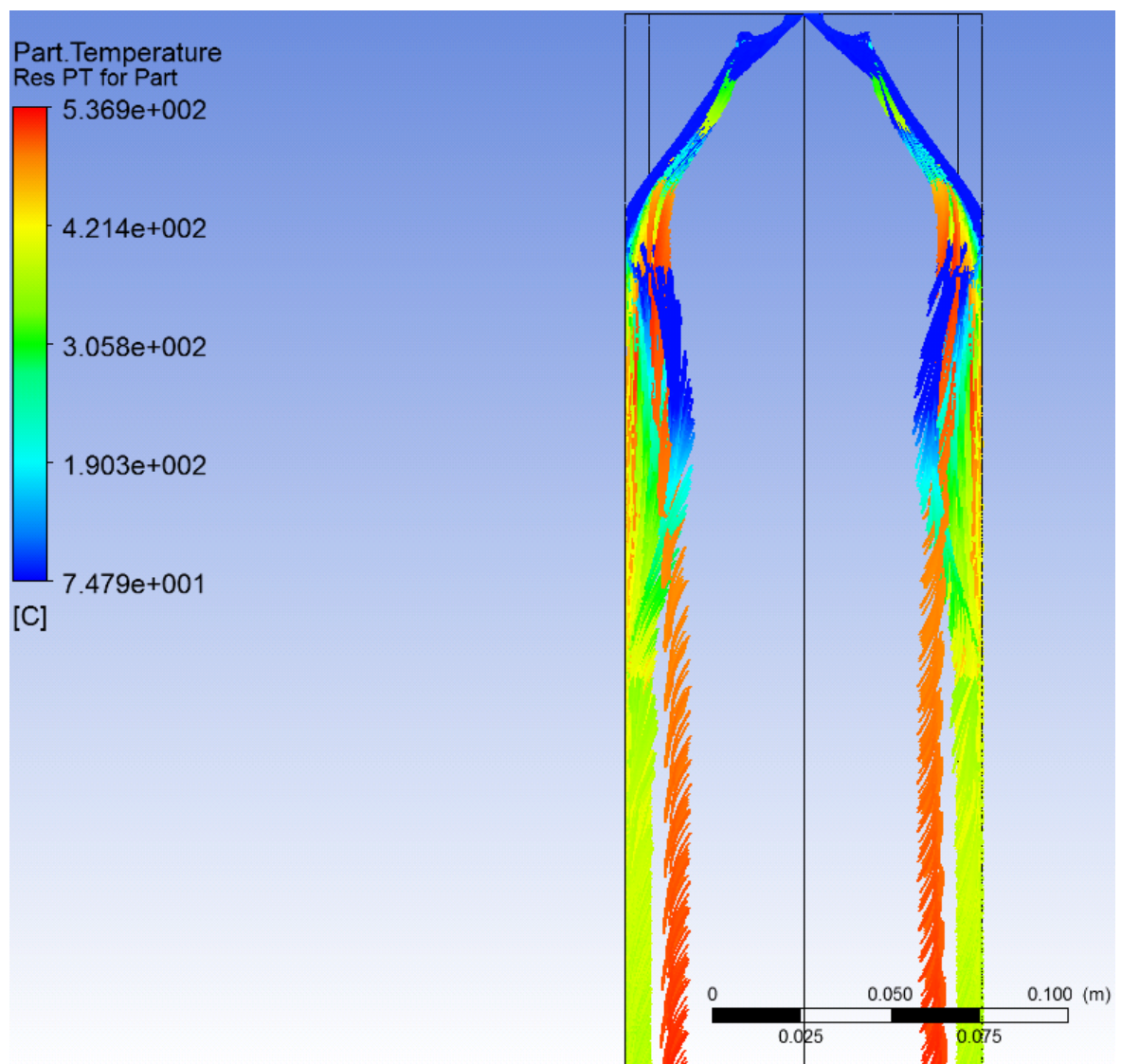


Рисунок 5.5 – Траектории частиц с указанием температуры частицы при скорости вдува газов 43 м/с

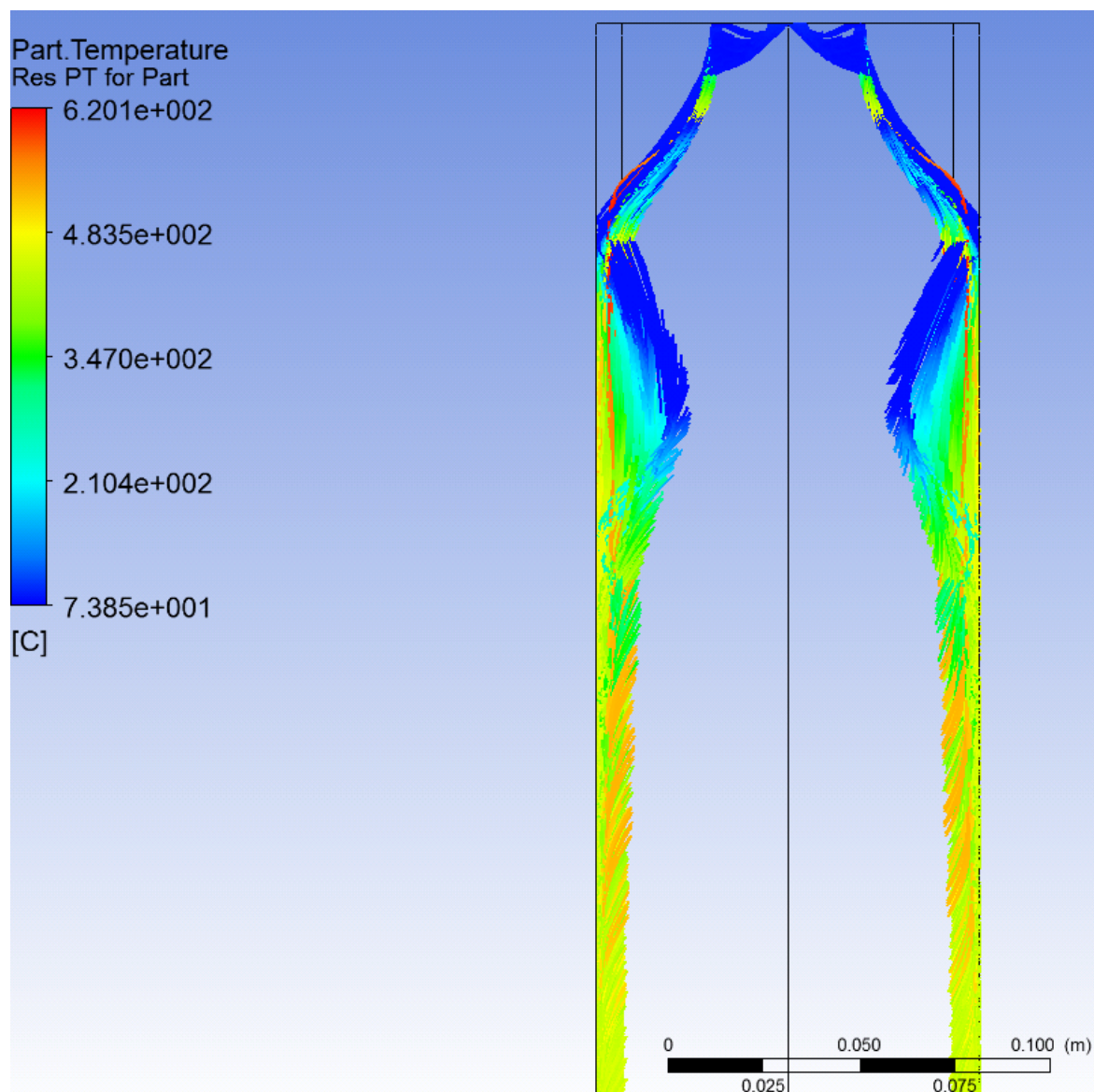


Рисунок 5.6 – Траектории частиц с указанием температуры частицы при скорости вдува газов 125 м/с

6 Моделирование совместной работы горелки ГГВ – МГП- 10 и реактора.

В данной главе рассматривается вариант совместной работы горелки ГГВ – МГП-10 и реактора, размеры которого составляют: диаметр – 110 мм, длина – 1 м.

Для моделирования горения СПБ (70% пропана и 30% бутана) была использована следующая расчетная область, являющаяся продолжением стандартной горелки типа ГГВ-МГП-10 и представленная на рисунке 6.1, где показаны границы подачи воздуха (а) и горючего газа (б). Данная область необходима для полного сгорания СПБ и формирования однородного профиля температуры продуктов сгорания для их подачи в реактор. Длина данного участка составляет 1 м.

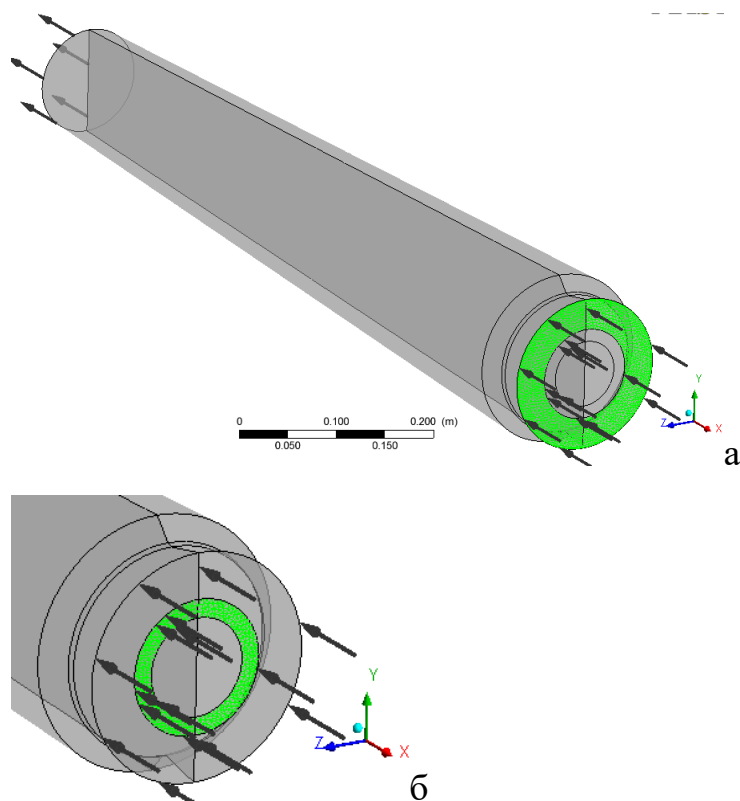


Рисунок 6.1 – Расчетная область, являющаяся продолжением горелки ГГВ – МГП-10

Конструкция горелки ГГВ – МПП-10 такова, что воздух из нее подается в закрученном состоянии. Это сделано для интенсификации сгорания смеси "горючий газ- воздух". Поэтому на вход в расчетную область воздух подается с закруткой 45°. Внутри области, представленной на рисунке 14, происходит сгорание СПБ.

Типичную картину распределения температуры внутри расчетной области можно увидеть на рисунке 6.2.

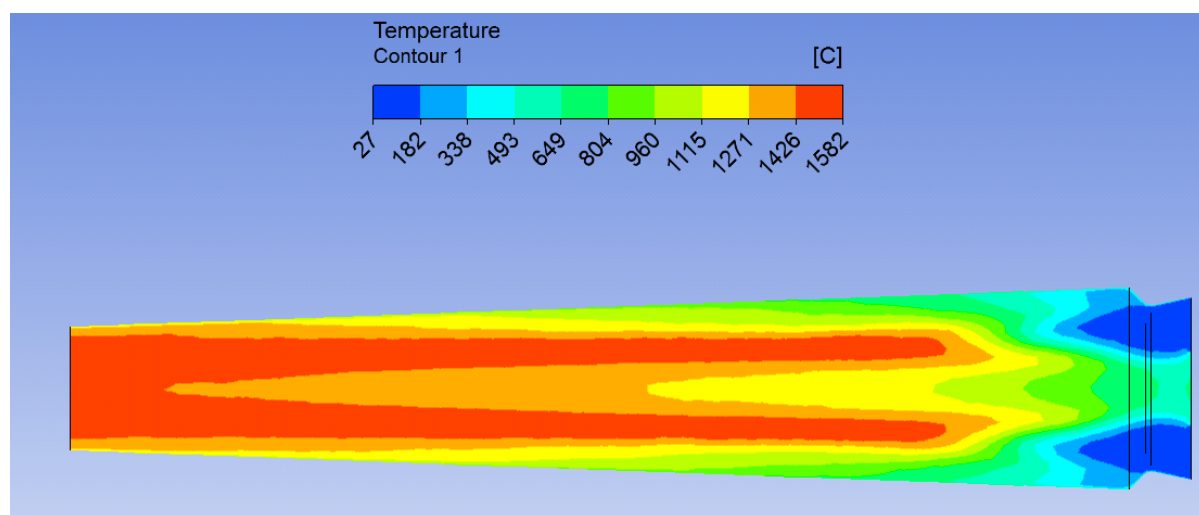


Рисунок 6.2 – Распределения температуры

Расчеты были проведены при максимальном расходе воздуха 50 нм³/ч. Зависимость температуры продуктов сгорания от массы подаваемой СПБ (при фиксированном расходе воздуха) представлен ранее в таблице 2.

Далее продукты сгорания (преимущественно азот, вода и диоксид углерода) подаются в реактор, куда также вводятся капли плава $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 6.3). На этом рисунке представлена схема подачи продуктов сгорания и капель плава в расчетную область. Следует также отметить, что на боковой границе расчетной области ставилось условие теплообмена с окружающей средой (воздух), имеющей температуру 21° С.

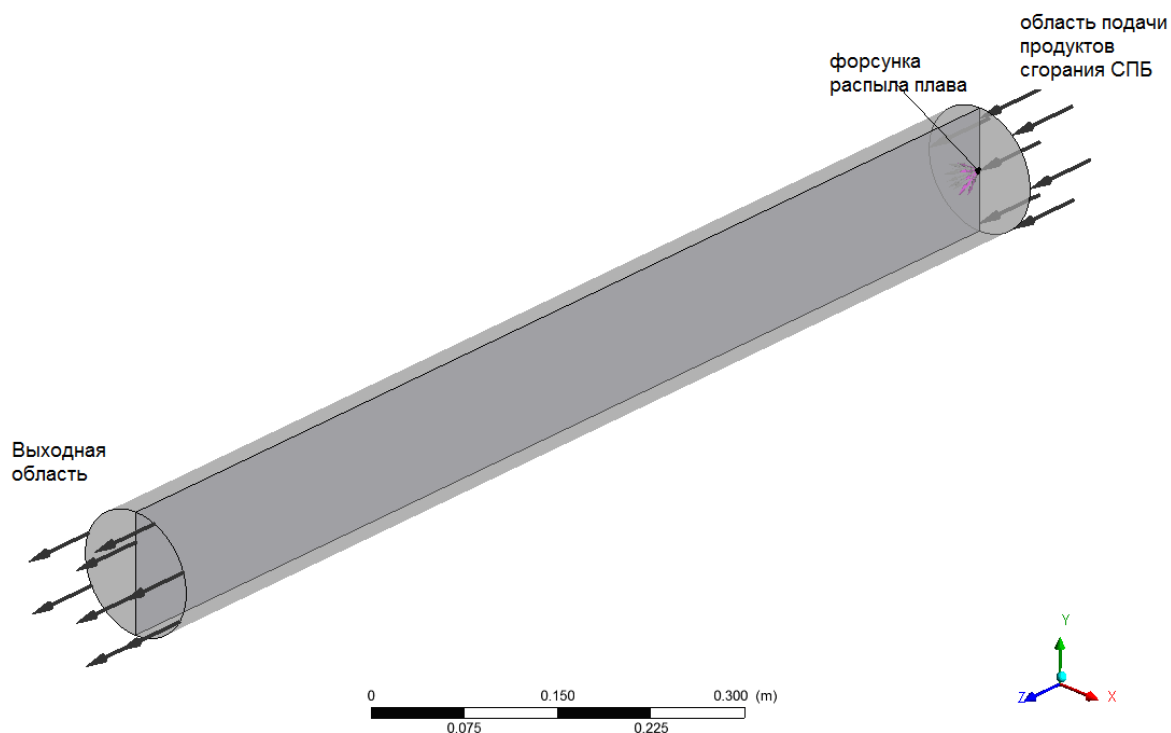


Рисунок 6.3 – Схема реактора с торцевой аксиальной подачей каплей плава

При этом способ подачи каплей плава рассматривался различным – как направлении оси реактора (рисунок 6.4, вариант а), так и сбоку (рисунок 6.4, вариант б) . Также считается, что плав подается в область посредством распыла через форсунку в виде каплей заданного размера. Следует отметить, что для получения качественного продукта температурный режим должен быть выдерживаться в определенном диапазоне. Поэтому одним из вопросов является определение равновесной температуры смеси "газ-капли плава".

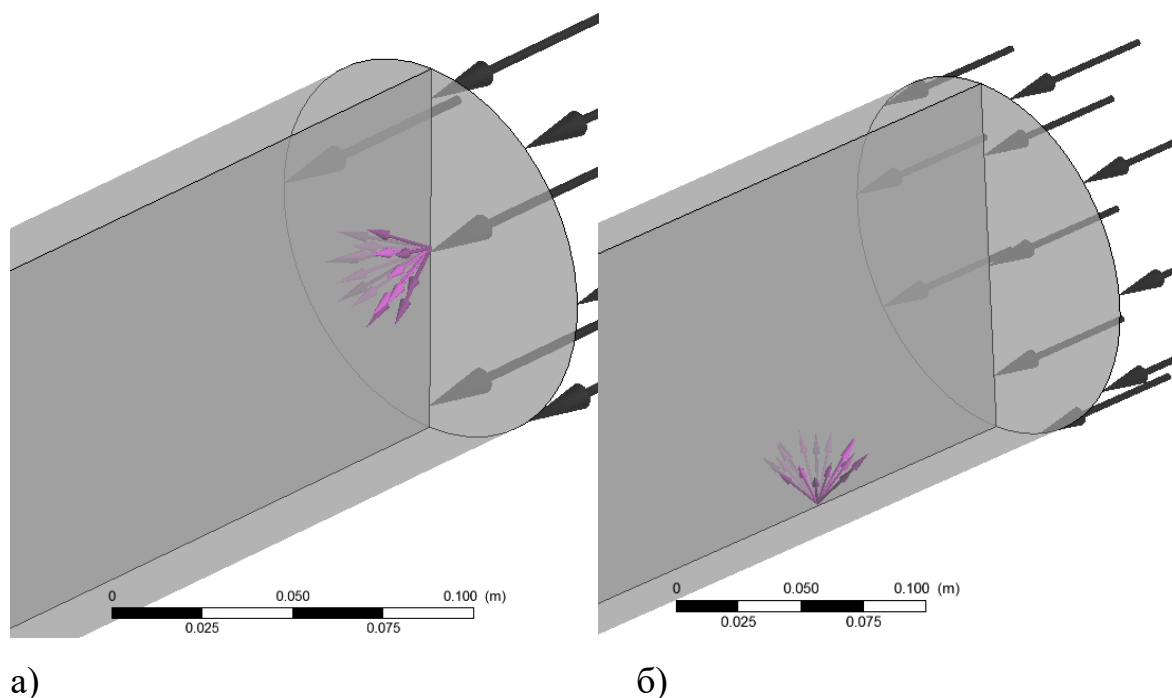


Рисунок 6.4 – Схема реактора с различной подачей каплей плава

Для различных массовых расходов горючего газа расчетные результаты представлены в таблице 3. В ней для фиксированного значения расхода воздуха, необходимого для горения СПБ, равного $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ при н.у. и расхода плава, составляющего 10 л/ч , показаны получаемая температура смеси газ-капли с учетом теплообмена и испарения имеющейся в плаве воды.

Таблица 6.1 – Температура смеси газ-частицы с учетом теплообмена и испарения имеющейся в плаве воды

Q_m СПБ кг/ч	Т смеси газ-капли плава
2	530
2,5	652
3	764
3,55	856

Далее приводятся результаты расчетов, проводимых для данной конструкции.

В качестве результатов рассматриваются картины движения частиц в объеме реактора, а также распределение поля температуры.

Были рассмотрены различные варианты подачи газа (равномерный или закрученный поток) на входе, с учетом разного способа подачи частиц- вдоль оси реактора и сбоку. Результаты расчетов представлены на рисунках ниже. На цветовой шкале указано распределение температуры в области. Также на этих рисунках (см. рисунки 6.5-6.7) изменением цвета вдоль траектории указана массовая доля воды в каплях, меняющаяся в пределах от 0,215 (красный цвет частиц) до 0 (синий цвет частиц).

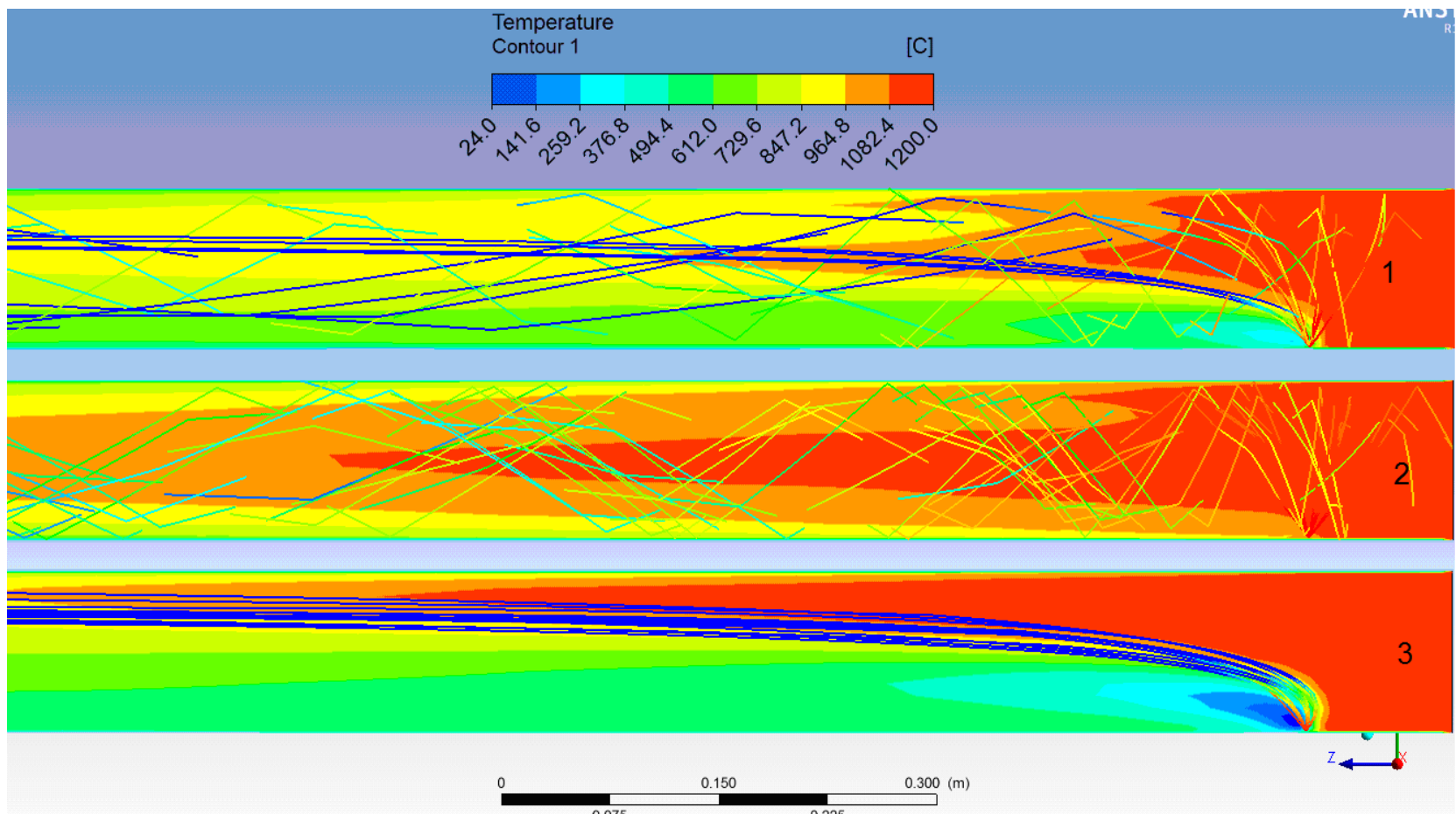


Рисунок 6.5 – Распределение температуры и траектории каплей для случая равномерной (не закрученной) подачи газа и впрыскивания каплей со стороны стенки.

- 1- полидисперсные капли диаметром 0,1-1 мм
- 2- монодисперсные капли диаметром 1 мм
- 3- монодисперсные капли диаметром 0,1 мм

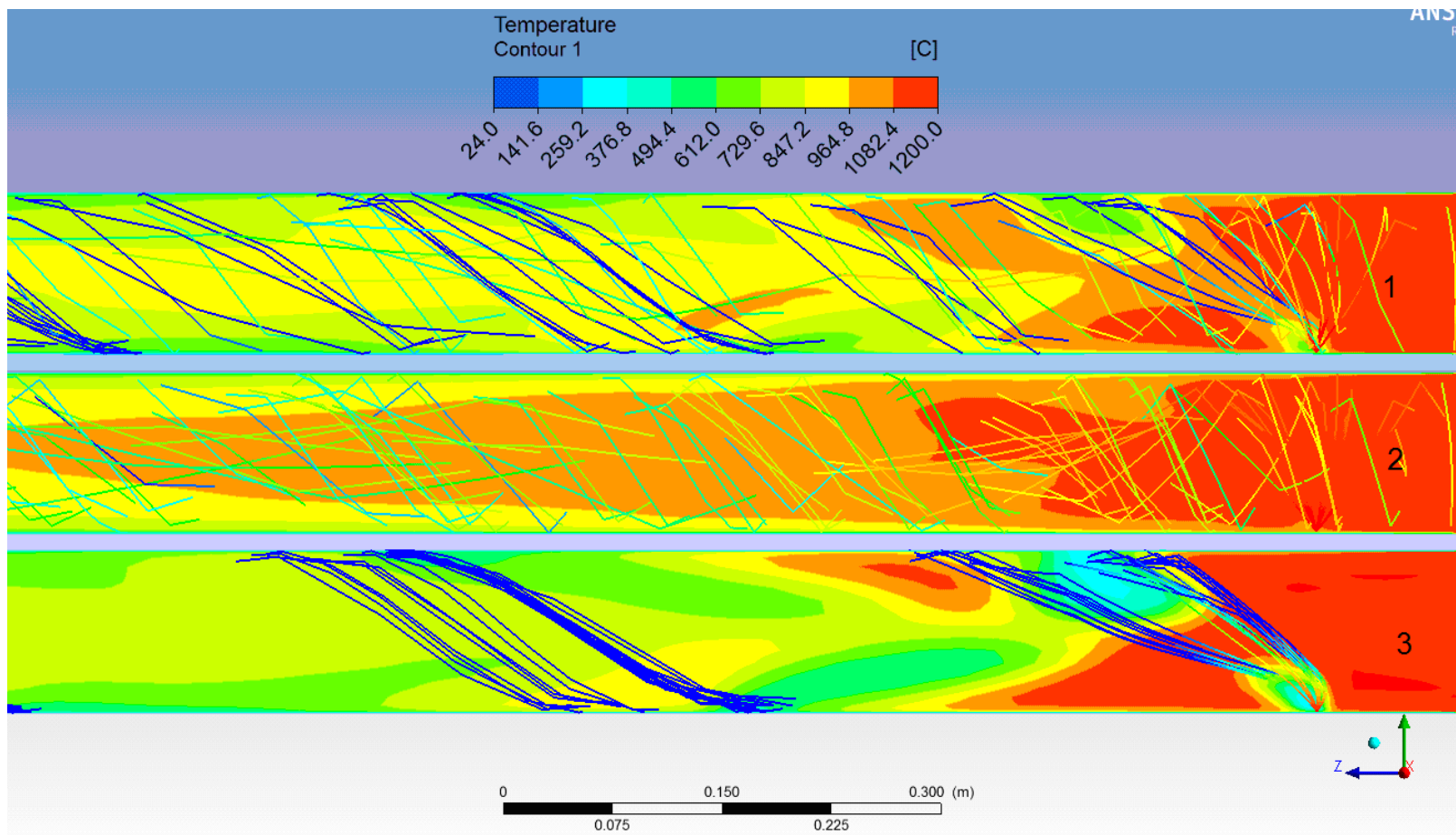


Рисунок 6.6 – Распределение температуры и траектории капель для случая закрученной подачи газа (угол закрутки 45°) и впрыскивания капель со стороны стенки (вариант 3).

1- полидисперсные капли диаметром 0,1-1 мм

2- монодисперсные капли диаметром 1 мм

3- монодисперсные капли диаметром 0,1 мм

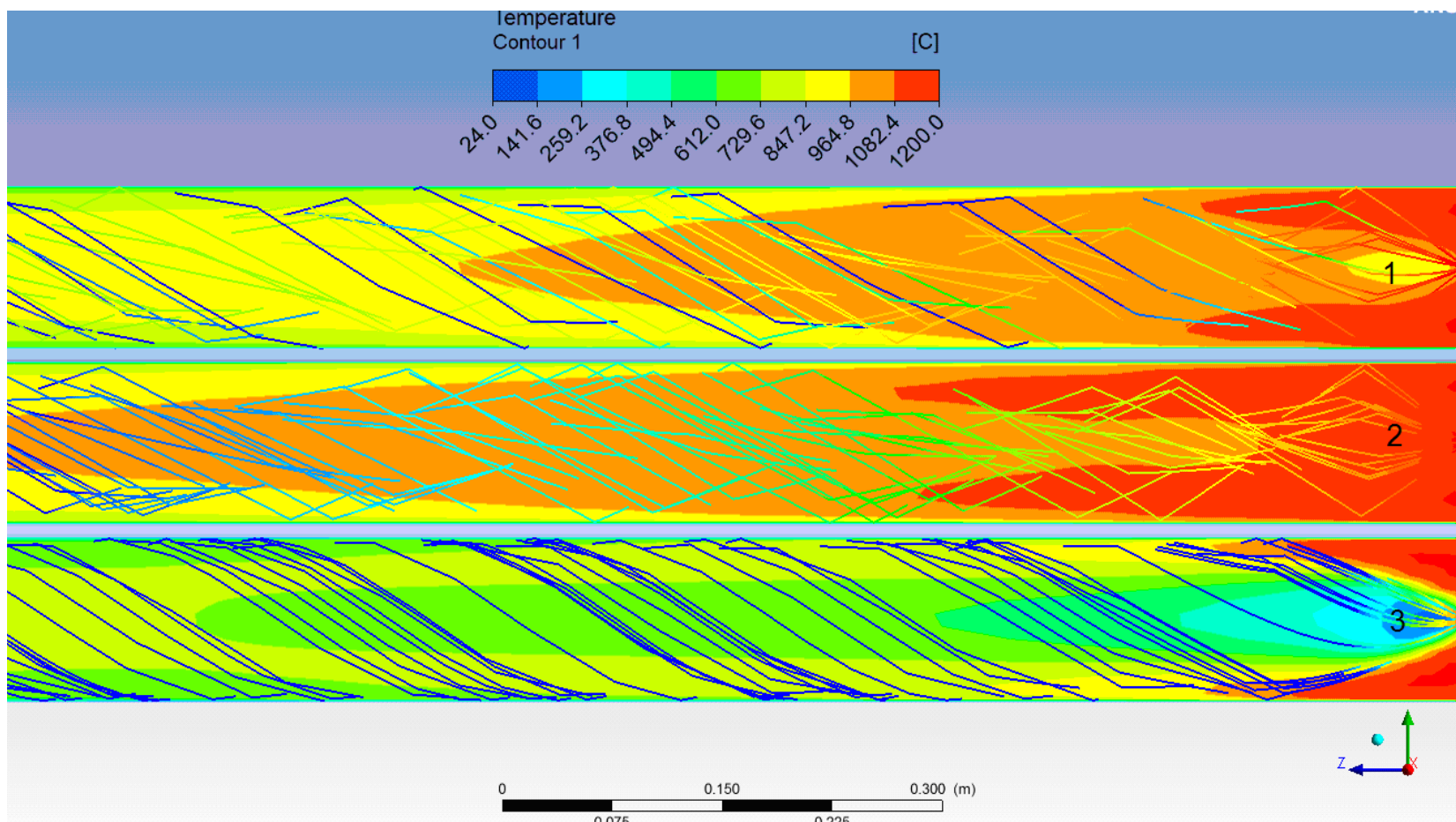


Рисунок 6.7 – Распределение температуры и траектории капель для случая закрученной подачи газа (угол закрутки 45°) и впрыскивания капель со стороны входа (вариант 2).

- 1- полидисперсные капли диаметром 0,1-1 мм
- 2- монодисперсные капли диаметром 1 мм
- 3- монодисперсные капли диаметром 0,1 мм

Из данных результатов свидетельствует, что наличие закрутки в подаче продуктов сгорания приводит к тому, что капли движутся преимущественно вдоль стенок, что может привести к нежелательным последствиям в виде их выпадения на поверхность стенок, неравномерному (по объему) нагреву капель из-за неравномерности распределения температуры внутри рассматриваемой области.

Поэтому для устранения подобного эффекта был рассмотрен вариант с условно "противоточной" схемой подачи капель плава через две форсунки в направлении 40° против потока. На рисунке 6.8 (сверху) показана расчетная схема моделируемой области, а на рисунках 6.9, 6.10 (сверху) – результаты для случая подачи капель дисперсностью 0,1-0,3 мм, подаваемых в незакрученное течение. На этих же рисунках, но в нижней части показан аналогичный вариант, но для случая подачи капель плава из одной форсунки под углом 90° . Это сделано для большей наглядности при сравнении этих вариантов.

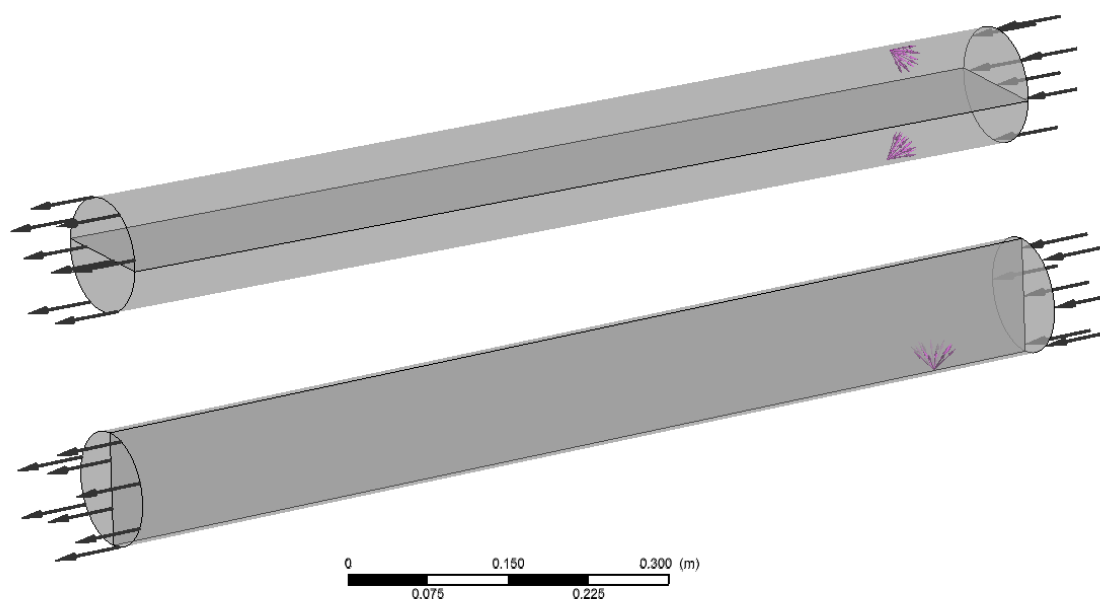


Рисунок 6.8 - Схема подачи газа и капель

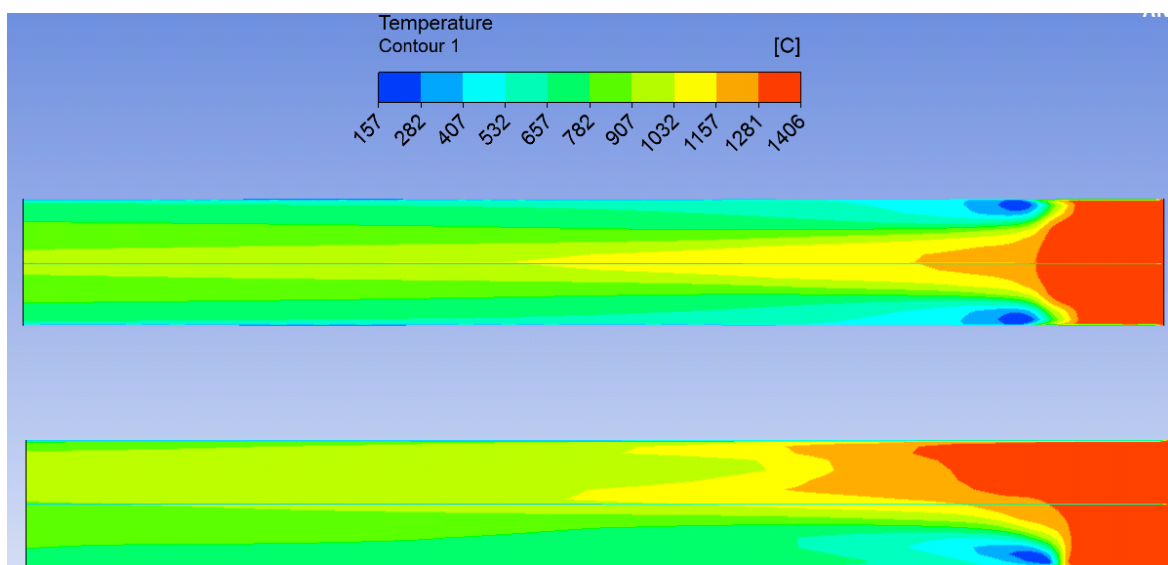


Рисунок 6.9 - Распределение поля температур в реакторе

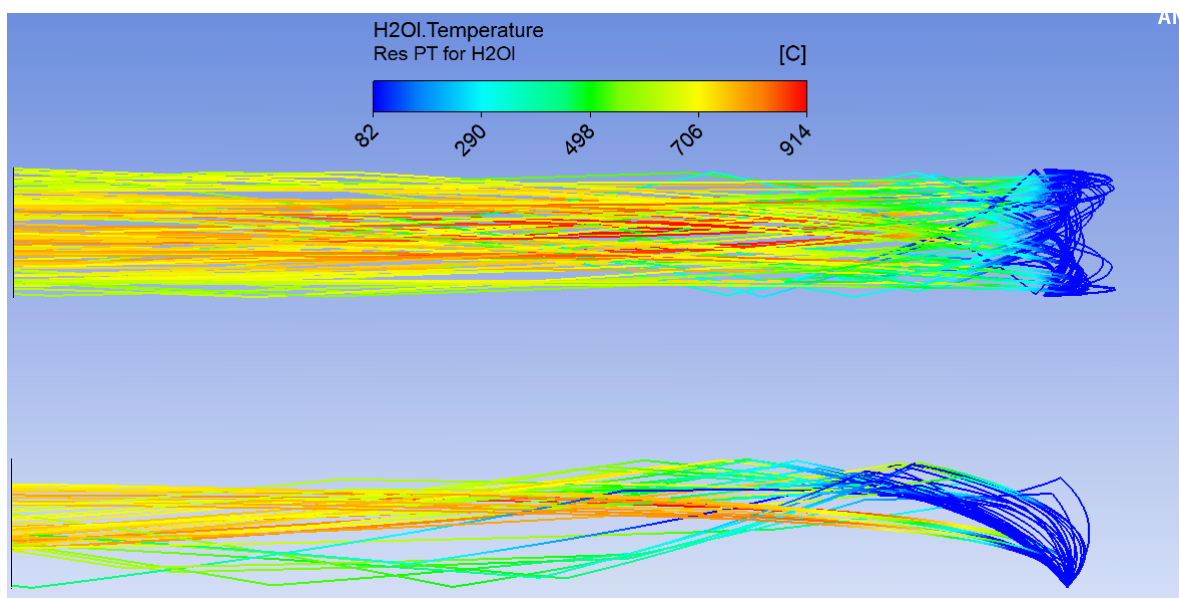


Рисунок 6.10 - Распределение траекторий движения капель в реакторе с указанием их температуры вдоль траектории

Как видно из результатов моделирования, подача плава через две форсунки в направлении 40° против потока позволяет добиться равномерного поля температур и распределения капель.

6.1 Предложения по выбору конструкции реактора

В результате исследований предлагается создать установку с использованием ГВБ-МГП-10 следующей конструкции, см. рисунок 6.11

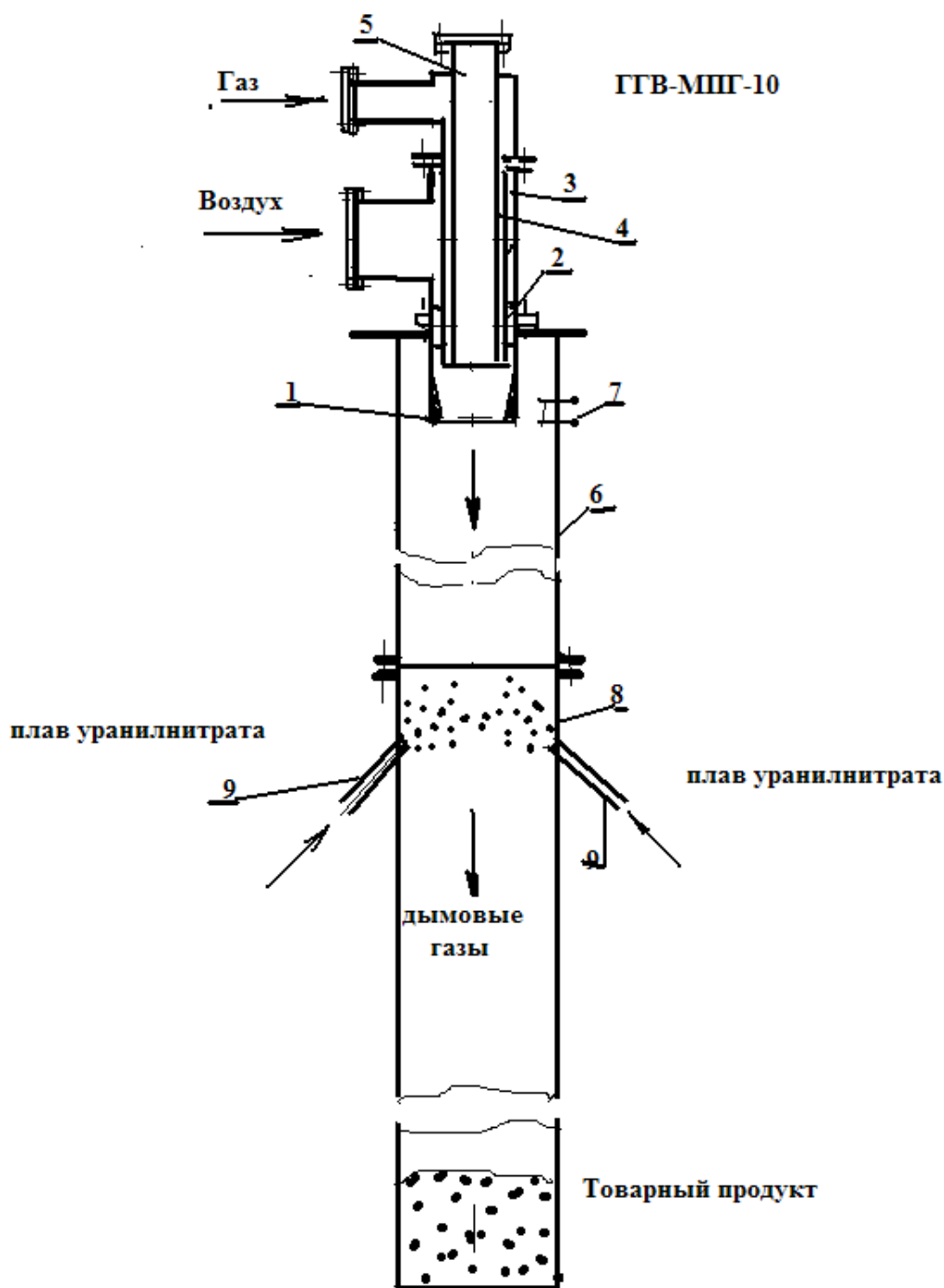


Рисунок 6.11 – Эскиз конструкции реактора

Диаметр форкамеры 6 и реактора 8 - 130 мм., высота форкамеры 6 1000мм. Назначение форкамеры – обеспечение полного сжигания

пропанбутановой смеси в среде воздуха и выравнивание температуры по поперечному сечению входного участка реактора 8. На рисунке 30 показан вариант установки с двумя подводами плава уранилнитрата под углом 40° . Может быть осуществлена подача плава уранилнитрата с 3-мя и более осесимметричными трубками подвода.

7 Определение распыла центробежной форсунки

Для несжимаемой жидкости теоретические исследования закрученных течений, в основном выполнены при допущениях о радиально-уравновешенном характере течения [1] и о постоянстве полной энергии каждого элемента жидкости закрученного потока, совпадающей с энергией элемента жидкости незакрученного потока. Наибольших успехов в рамках этих предположений удалось достичь в связи с разработкой теории центробежной форсунки [7], основанной на выборе решения в минимальном сечении, исходя из принципа максимума расхода. Эта методика разработана для частного случая задания циркуляции вектора скорости закрученного потока, когда она постоянна во всей области закрученного течения. Данная методика для умеренных чисел A (A – геометрическая характеристика центробежной форсунки) дает хорошее совпадение по коэффициенту расхода с опытными данными.

Рассмотрим центробежную форсунку (ЦБФ), схема которой приведена на рисунке 7.1.

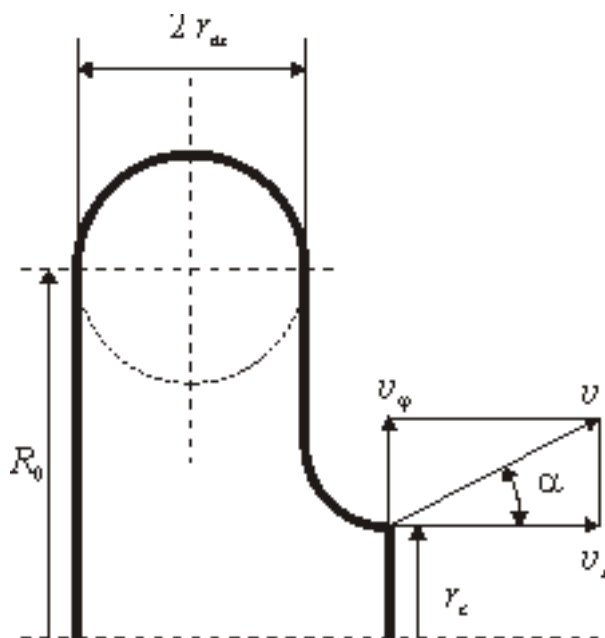


Рисунок 7.1 – Схема центробежной форсунки

Используя методику Г.Н. Абрамовича [7] проведем расчет основных характеристик факела распыла ЦБФ. Согласно данной методики, ЦБФ

характеризует величина $A = \frac{\pi R_0 r_c}{S_{\text{вх}}} = \frac{R_0 r_c}{r_{\text{вх}}^2}$ (геометрическая характеристика центробежной форсунки). Здесь R_0 - плечо закрутки; r_c - радиус выходного сечения; $r_{\text{вх}}$ - радиус входного сечения.

7.1 Расчет угла распыла ЦБФ.

Физические характеристики распыливаемой жидкости ГГУН:

$\rho = 2.4 \text{ г/см}^3$ – плотность;

$\mu = 0.19 (\text{дин} \cdot \text{с}) / \text{см}^2 = 0.019 \text{ Па} \cdot \text{с}$ – коэффициент динамической вязкости;

$\sigma = 45 \text{ дин/см} = 0.045 \text{ Н/м}$ коэффициент поверхностного натяжения;

Расходные характеристики форсунки:

$Q = (10 \div 20) \text{ дм}^3 / \text{час} = (2.78 \div 5.56) \text{ см}^3 / \text{с}$ – объемный расход жидкости через ЦБФ;

$G = (6.72 \div 13.44) \text{ г/с}$ – массовый расход жидкости через форсунку.

Геометрические параметры центробежной форсунки:

$r_{\text{вх}} = 0.1 \text{ см}$ – радиус входного тангенциального канала;

$r_c = 0.1 \text{ см}$ – радиус выходного сопла форсунки;

$R_0 = 0.4 \text{ см}$ – плечо закрутки;

$A = 4.0$ - геометрическая характеристика ЦБФ.

Согласно выше представленным формулам для заданной геометрической характеристики форсунки $A=4.0$ радиус воздушного вихря равен

$$r_b = 0.0795 \text{ см}.$$

Толщина пленки жидкости в выходном сечении сопла форсунки

$$\delta_p = r_c - r_b = 0.0205 \text{ см}.$$

Средняя скорость жидкости u_{ex} во входном канале ЦБФ для заданного диапазона объемного расхода жидкости изменяется в промежутке $(88.4 \div 176.8)$ см/с. Для данного диапазона изменения u_{ex} $v_{\varphi} = (394 \div 788.2)$ см/с.

Для продольной компоненты вектора скорости жидкости u_x в выходном сечении сопла форсунки следует ее изменение от 240.2 см/с до 480.3 см/с.

Таким образом, среднее значение полуугла факела распыла форсунки для заданного диапазона изменения расхода $\alpha \approx 58.6^\circ$.

Для толщины пленки жидкости в выходном сечении сопла форсунки имеем

$$\delta_p = r_c - r_b. \quad (7.1)$$

r_b - положение свободной поверхности (радиус воздушного вихря) в сечении выхода. Толщина пленки в факеле распыла (рисунок П2.2) определяется из

$$\delta = \delta_p \cos \alpha_{cp}. \quad (7.2)$$

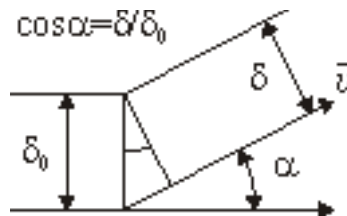


Рисунок 7.2 – Толщина пленки в факеле распыла

По значению полуугла факела распыла толщина пленки в факеле распыла равна

$$\delta = 0.0107 \text{ см.}$$

Для заданного диапазона расхода жидкости требуемый перепад давления на форсунке равен:

$$\Delta p = 31.2 \text{ кПа для } G = 6.72 \text{ з/с } (Q_w = 10 \text{ л/час}) \text{ и}$$

$$\Delta p = 124.7 \text{ кПа для } G = 13.44 \text{ з/с } (Q_w = 20 \text{ л/час}).$$

Результаты проведенных расчетов для минимального и максимального значений расхода жидкости приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты расчетов

Q , см ³ /с	G , г/с	$u_{вх}$, см/с	v_x , см/с	v_ϕ , см/с	v , см/с	Δp , кПа
2.78	6.72	88.4	240.2	394	461.5	31.2
5.56	13.44	176.8	480.3	788.2	923.0	124.7

В таблице 7.2 приведены основные геометрические характеристики.

Таблица 7.2 – Основные геометрические характеристики ЦБФ

r_{ex} , см	R_0 , см	A	$\phi_{жс}$	ϕ	r_c , см	r_b , см	δ_p , см	α , °	δ , см
0.1	0.4	4.0	0.368	0.175	0.1	0.0795	0.0205	58.6	0.0108

Здесь ϕ коэффициент расхода ЦБФ для заданного значения коэффициента живого сечения $\phi_{жс}$, $\alpha = \arctg\left(\frac{v_\phi}{v_x}\right)$ – среднее значение полуугла факела распыла форсунки.

7.2 Дисперсность капель в факеле распыла струйной форсунки

Рассмотрим струйную форсунку, схема которой приведена на рисунке 7.3.

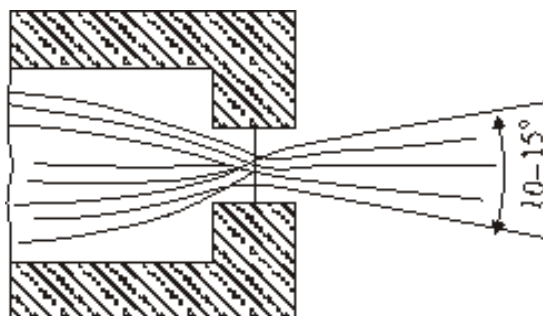


Рисунок 7.3 – Схема струйной форсунки

Форсунка имеет короткое цилиндрическое сопло радиусом r_c .

Коэффициент расхода цилиндрического сопла равен $\varphi=0.62$, коэффициент скорости $\varphi_1=0.97$, угол распыла $2\alpha=(10\div 15)^\circ$. Физические характеристики и диапазон расходов распыливаемой жидкости идентичны приведенным выше данным для центробежной форсунки.

Расчет характеристик факела распыла

Требуемый перепад давления на форсунке определяется из соотношения

$$Q = \varphi \pi r_c^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}.$$

Скорость истечения жидкости из сопла форсунки выражается формулой

$$v = \varphi_1 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}.$$

Критерии Вебера и Лапласа рассчитываются по формулам $We = \frac{2r_c \rho v^2}{\sigma}$,

$$Lp = \frac{2r_c \rho \sigma}{\mu^2} \text{ соответственно.}$$

Средний медианный диаметр каплей определяется по критериальному уравнению

$$\frac{D_m}{r_c} = Lp^{-0.07} \left(\frac{\bar{\rho}}{We} \right)^{0.3},$$

где $\bar{\rho} = \rho/\rho_g$.

Результаты расчетов основных характеристик факела распыла для различных диаметров сопла струйной форсунки приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Зависимость медианного диаметра капель D_m от радиуса сопла r_c и расхода Q

$Q = 10 \text{ л/ч}$				
r_c , мм	Δp , кПа	v , м/с	We	D_m , мм
0.5	39	5.5	1635	0.57
0.25	625	22	13100	0.16
$Q = 5 \text{ л/ч}$				
0.5	10	2.8	408	0.87
0.25	156	11	3270	0.24
$Q = 2.5 \text{ л/ч}$				
0.25	39	5.5	817	0.37
0.2	95	8.6	1600	0.24
0.15	301	15	3783	0.15

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование процесса пламенной денитрации плава уранилнитрата гексагидрата, проводится математическое моделирование этого процесса. 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.

8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование процесса пламенной денитрации плава уранилнитрата гексагидрата, проводится математическое моделирование этого процесса. Конечным продуктом денитрации является триоксид урана, который является промежуточным продуктом в производстве чистых солей урана. Оксиды урана как наиболее устойчивые его соединения могут быть использованы для хранения урана послужить промежуточным звеном между урановорудным, аффинажно-металлургическим и фторидными производствами. Потребителем данного проекта можно отнести государственную корпорацию «Росатом», которая может использовать его для получения оксидов урана.

8.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Процесс денитрации реализуют в аппаратах кипящего слоя. Раствор уранилнитрата, упаренный до содержания 70–100% гексагидрата, впрыскивается форсунками в аппарат кипящего слоя, который создается на основе частиц триоксида урана под действием воздушного дутья. По мере термического разложения уранилнитрата вновь образующийся триоксид урана постепенно заменяет первоначально загруженный. Необходимая температура создается с помощью теплоэлектронагревателей, расположенных снаружи и внутри корпуса аппарата. Готовый продукт разгружается из верхней части аппарата через спускную трубу, а газообразные продукты реакции очищаются от пыли в циклоне.

В пламенном методе денитрации источником теплового воздействия на частицы диспергированного гексагидрата уранилнитрата являются газообразные продукты, образующиеся после горения пропан-бутановой смеси в воздухе.

B_{ϕ} – процесс пламенной денитрации

B_{kl} – процесс плазменной денитрации.

Таблица 8.1 – Критерии оценки

Критерии оценки	Вес крите-рия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{kl}	K_{ϕ}	K_{kl}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Энергоэкономичность	0,25	5	3	1,25	0,75
2. Надежность	0,2	5	5	1	1
3. Безопасность	0,15	5	5	0,75	0,75
4. Функциональная мощность	0,25	5	5	1,25	1,25
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	0,75	0,6
Итого	1	25	22	5	4,35

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (8.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

8.1.3 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.

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

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

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.

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 8.2 Итоговая матрица SWOT– анализа.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Высокий уровень надежности. С2.Высокая энергоэффективность.	Слабые стороны научно-Исследовательского проекта: Сл1. Ограниченное число потребителей Сл2.Отсутствие экономической мотивации у предприятий
Возможности: В1. Проведение более экономически выгодного способа денитрации	Из данной комбинации видно, что существует возможность создания высокоэффективного, надежного и экономически выгодного способа денитрации	Благоприятные результаты исследования приведут к увеличению числа потребителей
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования	Увеличение эффективности повлияет на появление дополнительного спроса, который может повысить интерес предприятий

8.2 Планирование научно-исследовательской работы

8.2.1 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 дипломник.

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 8.3 – порядок составления этапов и работ

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

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

8.2.2 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 $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (8.2)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (8.3)$$

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.

8.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8.4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (8.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году – 365

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году – 52 (по 6-дневной рабочей неделе)

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году – 14

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{\text{кал}}$ округлены до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – 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	2	4	2,8	Р	2,8	3

2	10	16	12,4	Б, Р	6,2	8
3	4	6	4,8	Б	4,8	6
4	2	6	3,6	Б, Р	1,8	2
5	2	3	2,4	Б	2,4	3
6	10	16	12,4	Б, Р	6,2	8
7	4	7	5,2	Б, Р	2,6	3
8	5	7	5,8	Б, Р	2,9	4
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:			65		43,9 Р/Б 23,9/41,1	54 Р/Б 30/51

8.3 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

8.3.1 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.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (8.6)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8.7)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает зарплата инженера 1-го уровня, которая составляет 9893 руб. и 36800 руб. для профессора, доктора наук);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.5.

Таблица 8.5 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
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:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (8.8)$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для руководителя:

$$З_{\text{м}} = 36800 \cdot 1,3 = 47840 \text{ руб.}$$

Для бакалавра:

$$З_{\text{м}} = 9893 \cdot 1,3 = 12861 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата для руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{47840 \cdot 10,4}{251} = 1982 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата для бакалавра:

$$З_{\text{дн}} = \frac{12861 \cdot 10,4}{251} = 525 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата для руководителя:

$$З_{\text{осн}} = 1982 \cdot 23,9 = 47370 \text{ руб}$$

Основная заработная плата для бакалавра:

$$З_{осн} = 525 \cdot 41,1 = 21578 \text{руб}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс.} , руб.	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	36800	1,3	47840	1982	23,9	47370
Бакалавр	9893	1,3	12861	525	41,1	21578

8.3.2 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:

Таким образом выплаты в страховые фонды составят:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (8.9)$$

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

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 68948 = 18685 \text{руб.}$$

8.3.3 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.

Работа проводилась 148 часов, мощность ПК 100 Вт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (8.10)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 0,1 \cdot 148 = 86 \text{ руб.}$$

Накладные затраты:

$$C_n = C_{эл} = 86 \text{ руб.}$$

Прочие расходы составляют 5% от единовременных затрат на реализацию проекта и составят:

$$З_{пр} = k_{пр} \cdot (З_n + З_{зп} + З_{стр}), \quad (8.11)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент прочих расходов.

$$C_{пр} = 0,05 \cdot (86 + 68948 + 18685) = 4386 \text{ руб.}$$

8.3.4 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 таблица 8.7.

Таблица 8.7. – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68948
2. Отчисления во внебюджетные фонды	18685
3. Накладные расходы	4472
4. Бюджет затрат НТИ	92105

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 54 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 92105 рубля.

8.4 Определение ресурсоэффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (8.12)$$

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;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 8.8.

Таблица 8.8 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Энергоэкономичность	0,25	5	3
2. Надежность	0,2	5	5
3. Безопасность	0,15	5	5
4. Функциональная мощность	0,25	5	5
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4

$$I_{p-\text{исп1}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5$$

$$I_{p-\text{исп2}} = 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,35$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{5}{4,35} = 1,15$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,35}{5} = 0,87$$

Таким образом можно сделать вывод о том, что предлагаемый проект является наиболее эффективным по сравнению с его аналогом.

9 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [8].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [8], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

9.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

Таблица 9.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ЭВМ (обработка данных для идентификации неизвестного радиоактивного образца)	Воздействие радиации (СВЧ, УВЧ, ВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожарная и взрывобезопасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

На инженера, работа которого связана с моделированием на компьютере, воздействуют следующие факторы:

Физические:

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

Психофизиологические: опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

9.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПЭВМ.

9.2.1 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 и выдается специальное удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

9.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 9.1.

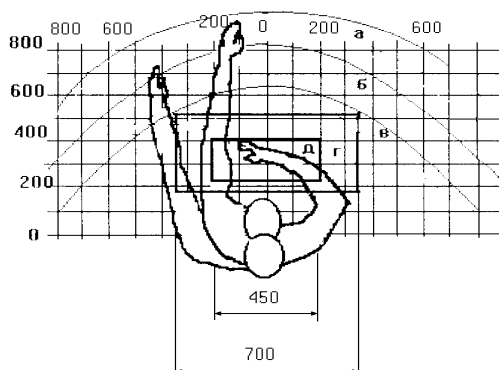


Рисунок 9.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а – зона максимальной досягаемости рук;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне, а (в центре); клавиатура - в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне, а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься 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 заглублённым 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 ° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 °. 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°. 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.

9.2.3 Условия безопасной 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 со [9] и приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 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.

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. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [9] 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 [9] 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

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

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 надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

9.4 Пожарная и взрывная безопасность.

Согласно [10], 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 по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

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);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- 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 аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному);
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112;
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Компьютерное моделирование реактора, работающего по технологии COMUREX, показало крайнюю сложность его реализации и большое количество потенциальных проблем, в основном связанных с обеспечением температурных режимов исходных компонент.

2. Наличие закрутки в подаче продуктов сгорания приводит к тому, что капли движутся преимущественно вдоль стенок, что может привести к нежелательным последствиям в виде выпадения капель на поверхность стенок, неравномерному их нагреву из-за неравномерности распределения температуры внутри рассматриваемой области.

3. Рассматривая различные способы подачи плава в реактор, можно заключить, что, несмотря на более равномерную картину движения капель в области, полученную при их вводе в аксиальном направлении, возникнут технические сложности с обеспечением теплового режима подачи плава.

4. Наиболее перспективным является подача частиц со стороны стенки. Причем, направление подачи капель против незакрученного потока газа (с двух и более точек) дает бóльшую равномерность поля температур и распределения капель в объеме. Кроме того, подобная схема подачи (со стороны боковой стенки реактора) позволяет более просто и качественно организовать подачу плава с требуемым температурным режимом.

Список литературы

1. Патент US 5628048 «Способ получения триоксида урана путем прямой термической денитрации водного раствора гексагидрата уранил нитрата», 1997.
2. Туманов Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: Физматлит, 2003. – 759 с.
3. Турбулентные течения реагирующих газов. Пер. с англ./ Под ред. П.Либби, Ф.Вильямса – М.: Мир, 1983, -328 с.
4. Канторович Б.В. Введение в теорию горения и газификации твердого топлива – М.: Metallurgizdat, 1960 -355с.
5. Канторович Б.В., Миткалинный В.И., Делягин Г.Н., Иванов В.М. Гидродинамика и теория горения потока топлива –М.: Metallurgiya, 1971, -488с.
6. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен.–М.: Машиностроение,1985,-240 с.
7. Абрамович Г. И. Теория центробежной форсунки // Промышленная аэродинамика: (Сборник статей). – ЦАГИ: Изд-во Бюро Новой техники Наркомата авиац. пром-сти. 1944.- С. 18-26. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
9. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность.