

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на ее среднюю производительность

УДК 621.642.3:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Орлов А.А.	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Е. И.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимченко С. Н.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат освоения ООП
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике кинетических явлений, наукоёмких промышленных технологиях (разделения изотопов, жидких и газовых смесей, получения высокочистых веществ).
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и 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).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов для экспресс-контроля технологических параметров, мониторинга технического состояния технологического оборудования, переработки, утилизации и обезвреживания промышленных отходов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств производства разделения изотопов, тонкой очистки, переработки веществ, программного обеспечения тренажерных комплексов для поддержания готовности технологического персонала предприятия к работе в нештатных и критических ситуациях, к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей плазменных установок, приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к

Код	Результат освоения ООП
	использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции, анализу рынка изотопномодифицированной, мембранной продукции, стабильных изотопов и услуг.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований в области физики селективных процессов, разделения изотопных и молекулярных смесей.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в области разделения изотопных и молекулярных смесей, молекулярно-селективных технологий и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов 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 получения моноизотопной и изотопномодифицированной продукции, глубокой очистки трудно разделяемых веществ.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования плазменных, мембранных, ионообменных установок, а также приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ _____ П.Н. Бычков
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович

Тема работы:

Влияние размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на ее среднюю производительность	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.01.2021 № 2269/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Задание. Литературные источники по основам процесса десублимации UF ₆ и физико- химическим свойствам UF ₆ и HF. Математическая модель нестационарного процесса десублимации UF ₆ в вертикальные погружные емкости.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке темы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Обзор и анализ литературы 2. Описание математической модели десублимации UF ₆ в вертикальные погружные емкости 3. Результаты расчетов, их анализ 4. Экономический расчет 5. Охрана труда и техника безопасности 6. Выводы. Заключение

Перечень графического материала.	Графики: Зависимость средней производительности емкости от толщины горизонтальных ребер; Зависимость средней производительности емкости от расстояния между горизонтальными ребрами; Зависимость средней производительности емкости от количества горизонтальных ребер; Зависимость степени заполнения емкости от количества горизонтальных ребер; Зависимость массы десублимированного UF ₆ от времени десублимации для разного количества горизонтальных ребер; Перемерзание центрального отверстия на верхнем ребре при количестве горизонтальных ребер 7 шт.; Зависимость площади теплообменной поверхности ребер от количества горизонтальных ребер
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Нестационарный процесс десублимации UF ₆ в вертикальной погружной емкости с горизонтальным ребрением	Профессор ОЯТЦ ИЯТШ, д.т.н. Орлов А. А.
Анализ полученных данных	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н Клемашева Е. И.
Социальная ответственность	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н. Тимченко С. Н.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Орлов А.А.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>	<i>Бюджет проекта – не более 178992,91 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 118609,2 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент для города Томска равен 1,3. Коэффициент накладных расходов равен 0,16. Тариф на промышленную электроэнергию равен 2,56 руб. кВт·час.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана разработки; Определение трудоёмкости работ; Разработка графика научно-технологического исследования; Формирование бюджета затрат на научно-технологическое исследование.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсной и финансовой эффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР: Влияние размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на ее среднюю производительность

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – 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:	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора 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:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко Сергей Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Балаев Даниил Бахтиярович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 страниц, 22 рисунок, 14 таблиц, 60 источников, 57 формул.

Ключевые слова: гексафторид урана, хладагент, десублимация, тепло– и массоперенос, математическая модель, нестационарный процесс.

Объектом исследования является вертикальная погружная емкость с горизонтальным оребрением объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

Цель работы – проведение исследований по изучению влияния размеров и расположения горизонтальных ребер вертикальной погружной емкости на динамику её заполнения десублимированным UF_6 .

В процессе исследования проводились: расчеты динамики заполнения емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ с горизонтальным оребрением десублимированным UF_6 , сделана оценка влияния количества и толщины горизонтальных ребер, а также расстояния между ними на среднюю производительность данной емкости.

Показано, что при уменьшении толщины горизонтального ребра с $7,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м средняя производительность емкости увеличивается с $4,505 \cdot 10^{-3}$ до $4,866 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 8%), то есть чуть больше 1% на $1,0 \cdot 10^{-3}$ м толщины ребра. Средняя производительность емкости не зависит от расстояния между горизонтальными ребрами в интервале от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $5,0 \cdot 10^{-2}$ м и составляет $4,806 \cdot 10^{-3}$ кг/с. При увеличении числа ребер с 2 до 9 шт. степень заполнения емкости не достигает заданного значения (70%) из-за «перемерзания» центрального отверстия верхнего ребра. Увеличение количества ребер с 10 до 19 шт. приводит к увеличению средней производительности емкости с $3,228 \cdot 10^{-3}$ кг/с до $5,885 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 80%) за счет увеличения теплообменной поверхности ребер на 55% и уменьшению времени ее заполнения до заданной степени в 1,8 раз. Увеличение количества ребер с 13 шт. в стандартной емкости до 19 шт. приводит к увеличению ее средней производительности на 21,4%.

Область применения: полученные результаты могут быть использованы в АО «ПО ЭХЗ» при оптимизации конструкции емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

В будущем планируется продолжить исследования и оптимизировать этот технологический процесс на разделительных предприятиях отрасли.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	8
ВВЕДЕНИЕ	13
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	15
1 Особенности десублимации гексафторида урана на разделительных предприятиях	15
1.1 Физические свойства UF_6	15
1.2 Химические свойства UF_6	17
1.3 Фтористый водород.....	20
1.4 Фтор	21
1.5 Трифторид хлора	22
1.6 Гексафторид вольфрама.....	23
1.7 Аммиак	25
1.8 Углекислый газ	26
1.9 Физические свойства других примесей.....	27
1.10 Аппарат конденсационно-испарительный РИФ-ПЕ	27
1.11 Установка W-ЭХЗ.....	32
1.11.1 Процесс ректификации на промышленной установке W-ЭХЗ	36
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ UF_6 В ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОГРУЖНЫЕ ЕМКОСТИ	38
2.1 Объект исследования.....	38
2.2 Двухмерная математическая модель процесса десублимации UF_6	39
2.3 Постановка задачи.....	42
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	49

3.1 Расчет зависимости средней производительности емкости от толщины горизонтальных ребер.....	49
3.2 Расчет зависимости средней производительности емкости от расстояния между горизонтальными ребрами.....	50
3.3 Расчет зависимости средней производительности емкости от количества горизонтальных ребер.....	51
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	55
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	55
4.1.2 SWOT – анализ.....	56
4.2.1 Структура научно-исследовательских работ	58
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР	59
4.2.3 Разработка календарного плана работ	60
4.3 Определение бюджета НИР.....	64
4.3.1 Расчет материальных затрат	64
4.3.2 Затраты на оплату труда работников.....	64
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды.....	66
4.3.4 Прочие прямые расходы	67
4.3.5 Накладные расходы.....	67
4.4 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта.....	68
4.4.1 Определение ресурсной и финансовой эффективности проекта.....	68
Охрана труда и техника безопасности.....	72
5.1 Характеристика вредных и опасных факторов.....	73

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	74
5.2.1 Организационные мероприятия	74
5.2.2 Технические мероприятия	75
5.3 Условия безопасной работы с ПЭВМ.....	77
5.4 Электробезопасность.....	79
5.5 Пожарная безопасность	80
ВЫВОДЫ	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	86

ВВЕДЕНИЕ

Процесс десублимации UF_6 является неотъемлемой частью газофазных технологий обогащения урана.

Десублимация широко применяется в различных отраслях промышленности, например она применяется на химических производствах для получения йода, фталевого ангидрида, малеинового ангидрида, антрахинона, фталонитрила, хлорида алюминия [1] и т.д. Также она применяется в металлургии (например при производстве циркония [2, 3], гафния, титана [3-4] и молибдена [5-8]) и для очистки целевых веществ от примесей. В пищевой промышленности десублимация используется совместно с процессом сублимации для обезвоживания продуктов и увеличения их срока годности [9, 10]. В медицине эти процессы используют для консервирования донорской крови, кровезаменителей, сывороток, вирусов и гормональных препаратов [11]; в фармацевтике при производстве сухих легкорастворимых антибиотиков, вирусных препаратов и биологически активных добавок; в биологии для хранения и культивирования микробных культур и для сушки биологических препаратов ветеринарного назначения [12].

Сублимационные и десублимационные процессы нашли широкое применение в ядерно-топливном цикле. UF_6 получают на сублиматных производствах и путём десублимации отчищают от примесей, далее твердый UF_6 транспортируют в емкостях на разделительное производство. После этого его испаряют для дальнейшего обогащения по ^{235}U . На выходе разделительного каскада получают, обогащенный и обедненный по легкому изотопу потоки, которые десублимируют. Обедненный уран перевозят на склад для длительного хранения. Обогащенную фракцию после десублимации гомогенизируют, переводя в жидкую фазу с последующей конденсацией в емкости или сразу транспортируют в твердом виде на предприятия для перевода UF_6 в UO_2 и изготовления ТВЭЛов [13].

Кроме того, десублимация используется для возвращения «проскоков UF_6 при очистке рабочего газа от легких примесей в аппаратах РИФ-ПЕ.

На разделительных предприятиях десублимацию UF_6 проводят в вертикальных погружных емкостях различного объема без оребрения или с горизонтальным, вертикальным оребрением, а также для в горизонтальных емкостях без оребрения, которые снаружи охлаждают водой [14].

В связи с модернизацией основного технологического оборудования становятся актуальными работы по исследованию десублимации UF_6 , связанные с интенсификацией процесса, совершенствованием конструкции емкостей и проектированием коллекторов десублимации большой производительности. Для решения этих задач целесообразно использовать возможности математического моделирования [15].

Частично данная проблема решена для отвального UF_6 с запуском в АО «ПО ЭХЗ» установки W. В мире накоплено около 2,5 млн. т отвального UF_6 , из которых примерно 1 млн. т в России. Часто отвалы UF_6 хранят на открытых площадках. При этом существует опасность их разгерметизации, которая может привести к образованию газообразного HF, относящегося к химическим веществам 1-го класса опасности. В России в отвалах содержится около 825 тыс. т дефицитного фтора [16, 17]. В связи с этим применение установки W является очень актуальным, так как позволяет переводить гексафторид урана в более безопасную форму закись-окись урана U_3O_8 и получать из освобожденного фтора с помощью ректификации 42% плавиковую кислоту и обезвоженный фтористый водород.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1 Особенности десублимации гексафторида урана на разделительных предприятиях

1.1 Физические свойства UF₆

Применение UF₆ в различных технологиях разделения изотопов урана объясняется двумя причинами:

- возможность обогащения в газовой фазе;
- фтор имеет только один природный изотоп, что облегчает процесс разделения изотопов урана (смесь состоит из двух изотопов).

UF₆ может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии. При этом он может в широком диапазоне давлений возгоняться (сублимировать), то есть, из твердой фазы, минуя жидкое состояние, переходить сразу в газовую фазу [18].

UF₆ при комнатной температуре находится в виде прозрачных кристаллов. При атмосферном давлении он сублимируется, не переходя в жидкое состояние. С увеличением давления плавится, переходя в прозрачную бесцветную и очень плотную жидкость [19].

Решетка ортогональных монокристаллов UF₆ относится к пространственной группе симметрии D_{2h}^{16} , постоянная решетки равна $a = 99,0 \text{ \AA}$, $b = 89,6 \text{ \AA}$, $c = 52,1 \text{ \AA}$. При этом в одной элементарной ячейке находятся четыре молекулы UF₆. В газовой фазе UF₆ не ассоциирован. Длина связи U-F в молекуле UF₆ 0,2 нм. Диаметр молекулы UF₆ приблизительно равен 0,55...0,6 нм, а площадь, которую занимает адсорбированная на поверхности молекула приблизительно равна 0,3...0,35 нм² [20].

При этом положения атомов фтора в решетке не эквивалентны, из-за искажения структуры октаэдрической молекулы, вызванного обменом между молекулами ГФУ атомами фтора в кристаллическом поле молекулы. При

увеличении температуры искажение уменьшается. В газообразном состоянии UF_6 парамагнитен [20].

Плотность твердого UF_6 составляет: при $20,7^\circ C$ – 6050 кг/м^3 [21]; при $25^\circ C$ – 5060 кг/м^3 [22]; при $65^\circ C$ – 4870 кг/м^3 [20].

Плотность жидкого UF_6 составляет: при $65^\circ C$ – 3624 кг/м^3 [20]; при $65,1^\circ C$ – 3640 кг/м^3 [22]; при $69^\circ C$ – 3600 кг/м^3 [21].

Теплота сублимации при $63,89^\circ C$ равна $47,86 \text{ Дж/моль}$; плавления при $63,89^\circ C$ – $19,13 \text{ Дж/моль}$; испарения при $63,89^\circ C$ – $28,72 \text{ Дж/моль}$ [18].

Теплоемкость твердой фазы $167,47 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{град)}$; жидкой фазы $192,10 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{град)}$; газообразной фазы $138,16 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{град)}$ [18].

Фазовая диаграмма UF_6 представлена на рисунке 1.1 Температура тройной точки равна $64,052^\circ C$, давление 1134 мм рт. ст. ($151,2 \text{ кПа}$), температура возгонки $56,4^\circ C$ при давлении $759,8 \text{ мм рт. ст.}$ ($101,3 \text{ кПа}$) [22]. Температура критической точки $245^\circ C$ при давлении $47\,876,6 \text{ мм рт. ст.}$ (6383 кПа или $45,5 \text{ атм.}$), плотность $1,39 \text{ г/см}^3$. При превышении критической температуры UF_6 распадается [23].

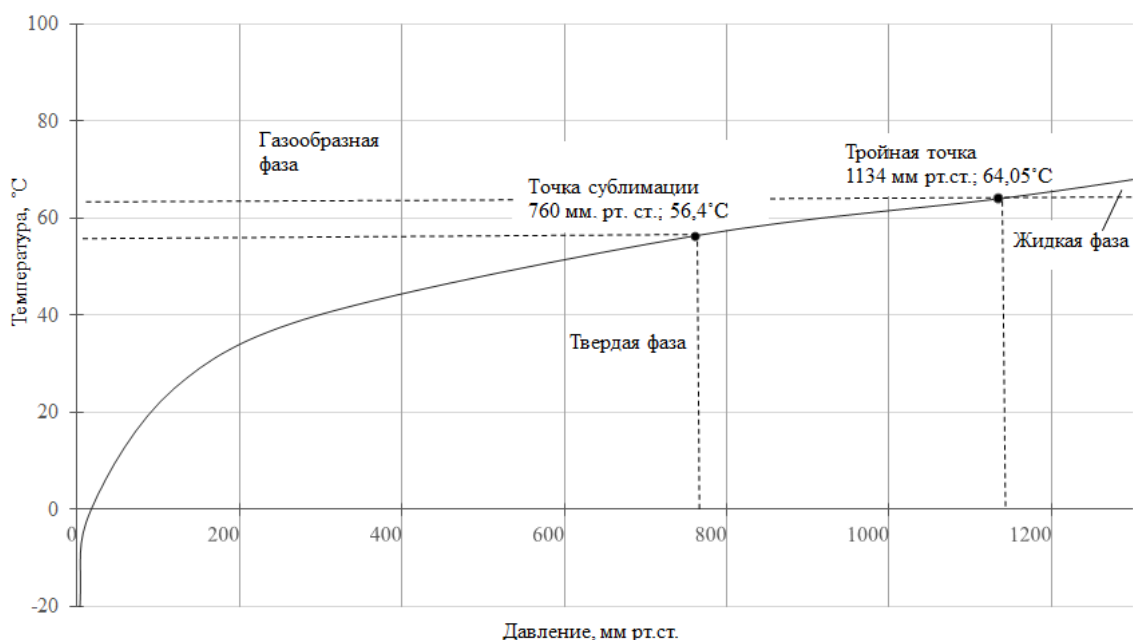


Рисунок 1.1 – Фазовая диаграмма UF_6

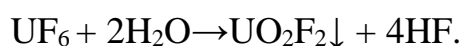
UF₆ может сублимировать в широком диапазоне давлений. Для десублимации UF₆ при поддержании определенной температуры и давления, достаточно незначительного отвода тепла [18].

Для того, чтобы перевести UF₆, находящийся в герметично закрытых емкостях, из твердой фазы в жидкую достаточно его нагреть до 80...90°C. Переход твердой фазы в жидкую сопровождается увеличением объема вещества на 30%, что необходимо учитывать при заполнении емкостей [18].

1.2 Химические свойства UF₆

UF₆ обладает рядом свойств, затрудняющих его практическое применение и накладывающих ограничения на выбор конструкционных материалов оборудования [18].

UF₆ является химически очень активным веществом, мгновенно взаимодействующим на воздухе с водой (ее парами). Гидролизуясь он образует нелетучий уранилфторид и очень агрессивную плавиковую кислоту.

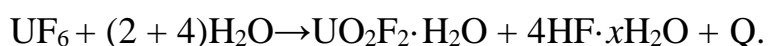


Количество образующихся продуктов реакции зависит от влажности воздуха. Данная реакция сопровождается большим выделением тепла (211,4334 кДж/моль при температуре 25°C). При дальнейшем взаимодействии с водой уранилфторид (UO₂F₂) диссоциирует, образуя UO₂⁺⁺ и F⁻:



UF₆ является сильно фторирующим агентом, в том числе при комнатной температуре. Реакции восстановления вызывают, помимо потерь вещества UF₆, образование твердых соединений урана, которые приводят к коррозии и скоплению отложений в газопроводах и отборниках газовых центрифуг [20].

Реакция с избытком воды выглядит следующим образом [23]:



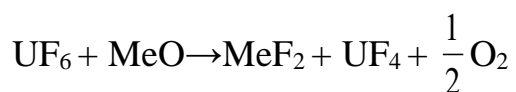
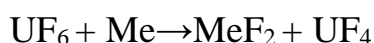
Взаимодействие UF₆ с органическими соединениями приводит к образованию нелетучего тетрафторида урана₄ и промежуточных соединений:



Взаимодействие UF_6 с рядом органических растворителей приводит к образованию почти идеальных растворов. При этом он вступает в реакцию со спиртом, эфиром и бензолом даже при температуре близкой к комнатной. Если же в молекуле растворителя есть атом кислорода, то UF_6 образует уранилфторид, а при взаимодействии с углеводородами – тетрафторид и промежуточные фториды урана [23].

В среде UF_6 металлы, как правило, подвергаются коррозии, в том числе и благородные, которые могут быть устойчивы к нему только при комнатной температуре [23].

Коррозионные потери UF_6 существенны из-за его взаимодействия с различными металлами (например, с цинком, кремнием, свинцом, оловом, железом) и их оксидами.



Не желательным является образование металлофторидных пленок на рабочих поверхностях и на подвижных деталях, так как это снижает надежность технологического оборудования [18].

Помимо этого, образованный в результате взаимодействия газообразного UF_6 с влагой, металлами и органическими соединениями тетрафторид осаждается на внутренних полостях газовых центрифуг в виде порошка и выводится из технологического процесса. Из-за коррозионных потерь рабочего газа происходит нарушение его баланса, что негативно сказывается на разделительной способности газовых центрифуг и всего производства. Такие материалы как: никель, алюминий, магний, медь и сплавы на их основе относительно устойчивы к взаимодействию с UF_6 , что можно объяснить образованием поверхностных пленок фторидов металлов или окиси алюминия [23].

Также существуют стойкие к UF_6 органические материалы (например, тефлон и фторидная смазка).

Стабильность и химическая активность UF_6 сильно зависит от температуры газа и омываемых им поверхностей [18].

Сероуглерод является плохим растворителем для UF_6 , так как из-за отсутствия влаги они взаимодействуют слишком медленно. Хорошими растворителями можно назвать галоидированные углеводороды, а с некоторыми из них он может образовывать растворы, которые при комнатной температуре будут устойчивы несколько недель. Наиболее стойкими являются его растворы в полностью фторированных углеводородах [23].

В жидком фтористом водороде, галогенфторидах и некоторых других неорганических растворителях UF_6 может образовывать устойчивые растворы, но абсолютно инертен к сухому кислороду, азоту, углекислому газу, хлору, бромю при любой температуре. Не взаимодействует с газообразным фтором, фтористым водородом и галогенфторидами [23].

UF_6 – химически стабильное соединение. В процессе радиолиза (α -распад) UF_6 медленно разлагается на твердый UF_4 , UF_5 и газообразный фтор (процесс разложения наблюдается в емкостях с отвальным UF_6 при хранении их на складе в течение нескольких лет) [18].

Из вышесказанного можно выделить ряд специфических свойств гексафторида урана, влияние которых на технологический процесс необходимо учитывать в работе:

1. Возможность перехода из газообразного состояния в твердое при повышении давления либо понижении температуры, минуя жидкую фазу, что приводит к осаждению гексафторида урана на рабочих полостях.

2. Переход гексафторида урана из твердого состояния в жидкое сопровождается увеличением объема в 1,3 раза при нагревании гексафторида урана выше $64^\circ C$ в закрытых емкостях, что приводит к разрушению емкости и выбросу гексафторида урана в окружающую среду.

3. Высокая агрессивность по отношению к многим веществам и материалам.

4. Образование в результате большинства реакций нелетучих соединений, которые, осаждаясь на рабочих поверхностях, вызывают забитие отборников, коллекторов, переходников и т. д.

Однако точное соблюдение технологических требований по эксплуатации оборудования позволяет избежать большинства вышеназванных отрицательных явлений.

1.3 Фтористый водород

Фтористый водород является основной примесью в UF_6 . Он поступает вместе с сырьем, а также образуется в технологической цепочке при попадании в оборудование влаги воздуха [18].

Фтористый водород – бесцветный газ или подвижная жидкость, дымящая на воздухе. Температура кипения составляет $20,543^{\circ}C$, температура плавления минус $83^{\circ}C$. Плотность фтористого водорода при температуре $19,4^{\circ}C$ составляет $0,991 \text{ г/см}^3$, при температуре минус $93^{\circ}C$ составляет $1,653 \text{ г/см}^3$. При испарении фтористого водорода наблюдается значительное понижение температуры стенок емкостей, возможно появление на них инея [24].

Фтористый водород является едким веществом, в жидком состоянии быстро разъедает прокладки из резины. Фтористый водород хорошо растворяется в воде, образуя фтористоводородную кислоту, является сильнейшим дегидратирующим веществом [18].

Фтористый водород реагирует с металлами, являющимися более сильными восстановителями, чем водород, если они не образуют защитные пленки из тугоплавких фторидов, как: алюминий, магний, железо и никель. Медь менее сильный восстановитель, чем водород, поэтому HF с ней не взаимодействует, но в присутствии окислителей медь очень быстро корродирует. Сплавы монель–металл инертны по отношению к HF . Под действием HF нержавеющая

сталь корродирует сильнее, чем железо и сталь, а свинец быстро разрушается. С окисями фосфора, вольфрама, урана и серы HF образует оксифториды и фторкислоты [23, 25].

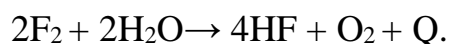
1.4 Фтор

Фтор отправляется на разделительные предприятия с сублиматных производств в емкостях вместе с сырьем и отвалами прошлых лет. Фтор применяется для тепловой обработки блоков очистительного каскада (ОК) и золеулавливающих фильтров при проведении их ремонта. Газообразный фтор имеет светло-желтый цвет, в жидком состоянии – грязно-желтый цвет. Его температура плавления – минус 218°С, а кипения – минус 188°С. В газообразном состоянии он имеет плотность $1,696 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Давление насыщенного пара жидкого фтора в интервале температур от –53,56°С при 1,67 мм рт. ст. (222,65 Па) до 89,4°С при 1219,81 мм рт. ст. (162,64 кПа) описывается уравнением:

$$\lg P = 0,053158 - \frac{2,679663}{T} - \frac{9,87 \cdot 10^{10}}{T^8} \text{ [Па]}. \quad (1.1)$$

Фтор практически не реагирует только с инертными газами. Реакции взаимодействия фтора с другими элементами экзотермичны, за исключением кислорода, с которым он взаимодействует только в электрическом разряде. При соединении фтора с влагой и маслами выделяется большое количество тепла. Поэтому при попадании значительных количеств фтора в масло вакуумных насосов может произойти его загорание со взрывом [24].

Фтор реагирует с водой по реакции:



Хлор взаимодействует со фтором, иногда с взрывом, после предварительного нагрева до температуры 200...500°С. Весьма энергично фтор взаимодействует с металлами. Свинец, уран и ванадий реагируют с фтором при комнатной температуре, а щелочные и щелочноземельные металлы и таллий в

этих условиях самовоспламеняются. При незначительном нагревании загораются во фторе висмут, олово титан, молибден и вольфрам [18].

Энергично взаимодействуют с нагретым фтором платиновые металлы. Металлы подгруппы меди и железа также превращаются во фториды при нагревании. Устойчивость некоторых металлов к действию фтора при низкой температуре объясняется использованием плотной пленки нелетучего фторида. Прочные пленки образуются на поверхности железа, меди, магния, и, особенно никеля и монель–металла. Поэтому из стали можно изготавливать трубопроводы и сосуды для фтора, которые используются при комнатной температуре). Никель, покрытый фтористым никелем, не подвержен действию фтора при температурах менее 600°C [24].

1.5 Трифторид хлора

Трифторид хлора – бесцветный газ, в твердом состоянии имеет белый цвет с желтым оттенком. Температура плавления составляет минус 83°C, температура кипения 11°C [18].

Зависимость давления насыщенного пара ClF_3 от температуры описывается уравнением:

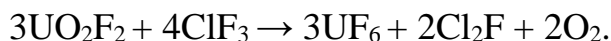
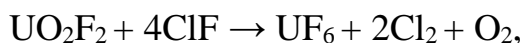
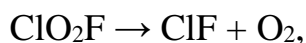
$$\lg P = 7,42 - \frac{1292}{T} \text{ [Па]}. \quad (1.2)$$

Важным химическим свойством ClF_3 является сильное окисляющее действие на любые химические вещества. Трифторид хлора вступает в реакцию со всеми металлами с образованием на их поверхности защитной фторидной пленки. Важным химическим свойством ClF_3 является сильное окисляющее действие на любые химические вещества. Он вступает в реакцию со всеми металлами с образованием на их поверхности защитной фторидной пленки и легко летучих фторидов металлов. Для работы с ним в качестве конструкционных материалов подходит сталь, медь и никель [23].

Благородные газы, азот и кислород не вступают в реакцию с ClF_3 . Остальные элементы в отличие от металлов не образуют фторидной пленки и

бурно реагируют с ClF_3 уже при комнатной температуре. Трифторид хлора и продукты его разложения чрезвычайно агрессивные вещества, соединяющиеся с органическими веществами (маслом, хлопчатобумажными тканями и т. п.) с загоранием, иногда со взрывом. Трифторид хлора бурно реагирует с водой с образованием HF , OF_2 , Cl_2 [24].

На разделительных предприятиях ClF_3 используется в цехах КИУ для обработки основного оборудования с целью снятия коррозионных отложений с внутренних полостей оборудования. Протекающие реакции (при температуре $50\dots 150^\circ\text{C}$) описываются уравнениями [26]:



Трифторид хлора и некоторые продукты его разложения при температуре жидкого азота переходят в твердое состояние. При размораживании в закрытых объемах до температуры 20°C некоторые продукты разложения ClF_3 значительно повышают давление [18].

1.6 Гексафторид вольфрама

При нормальных условиях WF_6 – тяжелый бесцветный газ, дымящий на воздухе и синеющий из-за образования продуктов гидролиза при взаимодействии с влагой. Многие металлы (Fe , Zn , Sn , Ni , Co , Pb) в атмосфере WF_6 быстро покрываются синим или черным налетом. Золото и платина устойчивы к действию WF_6 . Гексафторид вольфрама чрезвычайно энергично реагирует с NH_3 , образуя коричневое твердое вещество. При поглощении WF_6 водой выделяется осадок вольфрамовой кислоты. Сухое стекло медленно реагирует с WF_6 [27].

Гексафторид вольфрама кипит при $17,06^\circ\text{C}$ и плавится при $2,3^\circ\text{C}$. Плотность твердого WF_6 при минус 183°C равна $4,75 \text{ г/см}^3$, при 0°C – $3,99 \text{ г/см}^3$.

Молярный объем при температуре минус 183°С равен 62,8 см³. Плотность жидкого WF₆ при температуре 2,3°С – 3,515 г/см³, молярный объем 84,9 см³, то есть при плавлении WF₆ увеличивается в объеме. Если температура ниже минус 8,5°С WF₆ образует кристаллы с ромбической решеткой ($a = 0,9603$ нм, $b = 0,8713$ нм, $c = 0,5044$ нм, $z = 4$), а при температуре выше минус 8,5°С – кристаллы с кубической решеткой ($a = 0,628$ нм, $z = 2$), ΔH_0 перехода 8,7 кДж/моль [28].

Пар WF₆ энергично поглощается NaF с образованием прочного двойного соединения. С фторидом лития WF₆ практически не взаимодействует. Поглощение водой сопровождается выпадением вольфрамовой кислоты. Галогениды HCl, HBr и HI и оксид углерода CO восстанавливают WF₆ до низших фторидов, а водород при высоких температурах – до вольфрама. Гексафторид вольфрама не вступает в реакции окисления-восстановления с такими реагентами как AsF₅, SbF₃, BiF₃, CS₂, и лишь при взаимодействии с PF₃ возникают продукты реакции WF₄ и PF₅ [18].

Установлено, что WF₆ обладает слабой окислительной способностью. Добавление воды к растворам WF₆ и HF приводит к образованию оксифторида, электрохимические свойства которого близки к свойствам окситетрафторида WOF₄ в безводном HF. Растворимость WF₆ в безводном HF равна 3,14 моль/дм³ [18].

При низких температурах WF₆ восстанавливается водородом до WF₄ [18].

Реакция с ангидридом гидразина сопровождается взрывом. С фторидами натрия, калия, рубидия, цезия, марганца, а также с NH₃ и N₂O₄ гексафторид вольфрама образует комплексные соединения [18].

Давление пара в тройной точке для WF₆ равно 420 мм рт. ст. (55,99 кПа) Зависимость давлений испарения жидкого и сублимации твердого WF₆ от температуры описывается уравнениями:

- для твердого WF₆ при температурах от минус 60 до минус 8,2 °С:

$$\lg P = 9,91 - \frac{2000,6}{T} \text{ при } \text{минус } 60^\circ\text{C} < T < \text{минус } 8,2^\circ\text{C}$$

$$\lg P = 8,758 - \frac{1689,6}{T} \text{ при } -8,2^{\circ}\text{C} < T < 2^{\circ}\text{C};$$

- для жидкого WF_6 при температурах от 2,0 до 17,1 °C:

$$\lg P = 7,7635 - \frac{1380,5}{T} \text{ при } 2^{\circ}\text{C} < T < 17,1^{\circ}\text{C},$$

$$\lg P = 6,8899 - \frac{928,58}{T} - \frac{67942,9}{T^2} \text{ при } 11,83^{\circ}\text{C} < T < 51,38^{\circ}\text{C},$$

$$\lg P = 7,521 - \frac{1348}{T} \text{ при } 17^{\circ}\text{C} < T < 70^{\circ}\text{C}.$$

1.7 Аммиак

Наличие аммиака в технологической цепочке обусловлено его применением при продувке трубопроводов перед их ремонтом [18].

Аммиак – бесцветный газ с резким запахом, который является токсичным соединением. Он относится к веществам удушающего и нейротропного действия, вызывает отек легких и поражение нервной системы. Максимальная разовая концентрация NH_3 в атмосфере 0,2 мг/м³, а предельно допустимая концентрация в воздухе производственного помещения равна 20 мг/м³ [18, 29].

Температура перехода NH_3 в жидкое состояние при атмосферном давлении равна минус 33°C, а температура затвердевания минус 78°C, теплота плавления 6 кДж/моль, критическая температура 132°C, критическое давление 85 120 мм рт. ст. (11,3 МПа) [18].

Давление газообразного NH_3 аппроксимируется формулой [30, 31]:

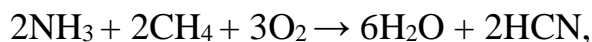
$$P = \left(\left(\frac{T}{6,46342 \cdot 10^{-7}} \right)^{1/8} - 10,7732 \right)^8 \text{ [кПа]}. \quad (1.3)$$

Разлагаясь от нагрева, аммиак проявляет восстановительные свойства, поэтому NH_4Cl можно применять при пайке для очистки от оксидов поверхности металла:



В результате его взаимодействия с галогенами образуются галогениды азота, являющиеся опасными взрывчатыми веществами [32].

Аммиак может вступать в реакцию с углем при температуре 1000°C или метаном, при этом образуется синильная кислота HCN:



1.8 Углекислый газ

С воздухом в оборудование может поступать углекислый газ (CO_2), имеющий при температуре $-5,3^\circ\text{C}$ упругость паров 22,066 мм рт. ст. (2,942 кПа) [18].

Он тяжелее воздуха приблизительно в 1,5 раза, не имеет цвета, а при малых концентрациях запаха, при больших запах газированной воды [18].

Критическая точка CO_2 составляет $31,1282^\circ\text{C}$ и 55 334 мм рт. ст. (7,3773 МПа). Тройная точка CO_2 достигается при температуре минус $56,5^\circ\text{C}$ и давлении 3885 мм рт. ст. (0,518 МПа) [18].

Углекислый газ кристаллизуется (образует «сухой лёд») при температуре минус $78,3^\circ\text{C}$, и сублимирует при атмосферном давлении и температуре выше минус 78°C [33].

При увеличении давления можно получить жидкий CO_2 . При температуре 20°C и давлении выше 45600 мм рт. ст. (6,08 МПа) газ переходит в бесцветную жидкость [33].

Давление газообразного CO_2 рассчитывается по формуле [34]:

$$P = P_{\text{kr}} \exp \left(\frac{T_{\text{kr}}}{T} \cdot \left[\sum_{i=1}^4 a_i \left(1 - \frac{T}{T_{\text{kr}}} \right)^{t_i} \right] \right) \text{ [МПа]}, \quad (1.4)$$

$a_1 = -7,0602087$, $a_2 = 1,9391218$, $a_3 = -1,6463597$, $a_4 = -3,2995634$, $t_1 = 1,0$, $t_2 = 1,5$, $t_3 = 2,0$, $t_4 = 4,0$

Углекислый газ не является горючим, однако в его атмосфере могут гореть щелочные и щелочноземельные металлы [33].

1.9 Физические свойства других примесей

Поступающий с сублиматного производства UF_6 может содержать следующие трудно отделимые химическим путем летучие фториды: тетрафторид кремния (SiF_4), пентафторид фосфора (PF_5), пентафторид ванадия (VF_5), гексафторид молибдена (MoF_6) [18].

Тетрафторид кремния и пентафторид фосфора более летучи, чем UF_6 при температуре $-2\text{ }^\circ\text{C}$ они имеют упругость паров 29,425 мм рт. ст. (3923 Па). Пентафторид ванадия и гексафторид молибдена летучи примерно, так же, как и UF_6 , при температуре $10\text{ }^\circ\text{C}$ имеют упругость пара 150...600 мм рт. ст. (20...80 кПа) [18].

В оборудование также могут поступать фторэтилен, имеющий при температуре $72,2\text{ }^\circ\text{C}$ упругость паров 735 мм рт. ст. (98,07 кПа) и другие органические соединения [18].

Кислород при температуре кипения минус $183\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 760 мм рт. ст. (101,3 кПа) переходит в жидкое состояние, при температуре минус $218,8\text{ }^\circ\text{C}$ затвердевает. При температуре минус $196\text{ }^\circ\text{C}$ упругость пара кислорода ~ 150 мм рт. ст. (20 кПа) [18].

Азот при температуре кипения минус $195,8\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 1031,6 мм рт. ст. (137,5 кПа) переходит в жидкое состояние, при температуре минус $210\text{ }^\circ\text{C}$ затвердевает [18].

Гексафторид урана и примеси имеют различную упругость паров. Это свойство используется при очистке UF_6 от легких примесей в процессе ожижения и при низкотемпературной «тренировке» [18].

1.10 Аппарат конденсационно-испарительный РИФ-ПЕ

Аппараты РИФ-ПЕ (рисунки 1.2, 1.3) предназначены для десублимации UF_6 с целью его выделения из газовой смеси, состоящей из UF_6 , HF и воздуха, и последующего испарения UF_6 для его возврата в технологическую цепочку [18].

При работе аппарата в режиме «конденсация» холодильная система охлаждает рабочую поверхность технологического модуля. Газовая смесь UF_6 и легких примесей при абсолютном давлении 30 мм рт. ст. (4 кПа) подается в технологический модуль аппарата, UF_6 десублимируется на охлаждаемой поверхности технологического модуля, а легкие примеси отводятся в откачную систему КИУ. При этом неизбежно присутствует проскок UF_6 через аппарат, уносимый с легкими примесями. Когда технологический модуль заполнится десублимированным UF_6 , аппарат переводится в режим «испарение»: холодильная система выключается из работы, и нагреватель технологического модуля начинает нагревать десублимированный и очищенный от легких примесей UF_6 , который в результате испаряется в технологический поток при абсолютном давлении до 100 мм рт. ст. (13,3 кПа). После окончания испарения UF_6 цикл работы аппарата повторяется [18].

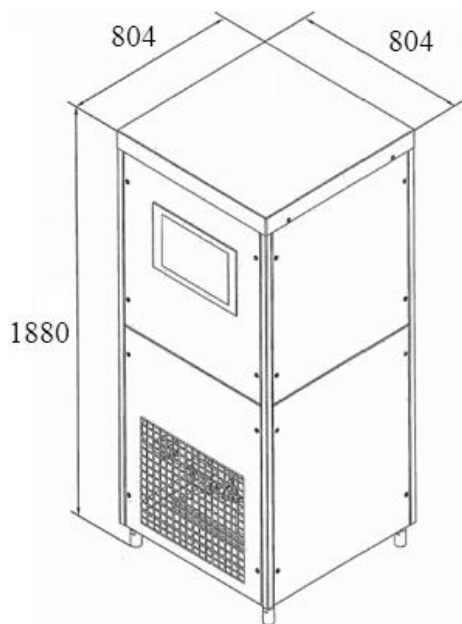


Рисунок 1.2 – Внешний вид аппарата РИФ-ПЕ

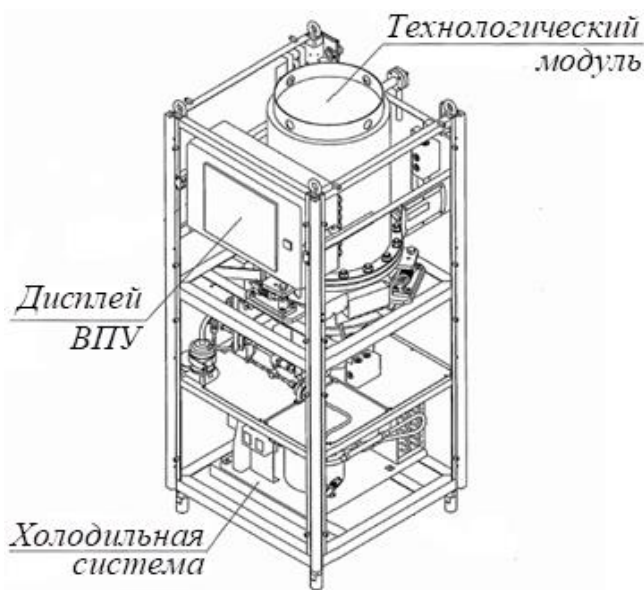


Рисунок 1.3 – Аппарат РИФ-ПЕ со снятыми декоративными панелями

При работе аппарата в режиме «испарение» автоматизированная система управления автоматически обеспечивает выполнение следующих действий:

- включение нагревателя;

- поддержание в технологическом модуле абсолютного давления UF_6 75 ± 3 мм рт. ст. ($10,0 \pm 0,4$ кПа) регулированием мощности нагревателя;
- поддержание температуры стенки технологического модуля $80 \pm 2^\circ\text{C}$ регулированием мощности нагревателя;
- выдачу соответствующего сообщения об окончании испарения при массе UF_6 в технологическом модуле $\leq 0,5$ кг.

Первоначально при включении режима «испарение» АСУ автоматически обеспечивает схему регулирования по давлению UF_6 . Переход на схему регулирования по температуре стенки технологического модуля с выдачей соответствующего сообщения автоматически должен происходить при температуре стенки технологического модуля свыше 80°C . Переход на схему регулирования по давлению UF_6 с выдачей соответствующего сообщения автоматически должен происходить при абсолютном давлении UF_6 в технологическом модуле более 75 мм рт. ст. (10 кПа) [18].

При отключении режима «испарения» АСУ автоматически обеспечивает отключение нагревателя [18].

При работе аппарате РИФ-ПЕ в режиме «испарение» автоматизированной системы управления (АСУ) автоматически обеспечивает следующую защиту:

- отключение нагревателя при абсолютном давлении UF_6 в технологическом модуле более 100 мм рт. ст. (13,3 кПа) по датчику давления с выдачей соответствующего сообщения и сигнала аварийной защиты (АЗ);
- отключение нагревателя при температуре в технологическом модуле более 100°C по датчику температуры с выдачей соответствующего сообщения и сигнала АЗ;
- отключение нагревателя при давлении во всасывающем трубопроводе холодильного агрегата ≥ 13500 мм рт. ст. (1,8 Мпа) по датчику давления с выдачей соответствующего сообщения и сигнала АЗ;

Аппарат состоит из технологического модуля (рисунок 1.4), холодильной системы, шкафа управления, весоизмерительной системы, электрооборудования, средств измерения [18].

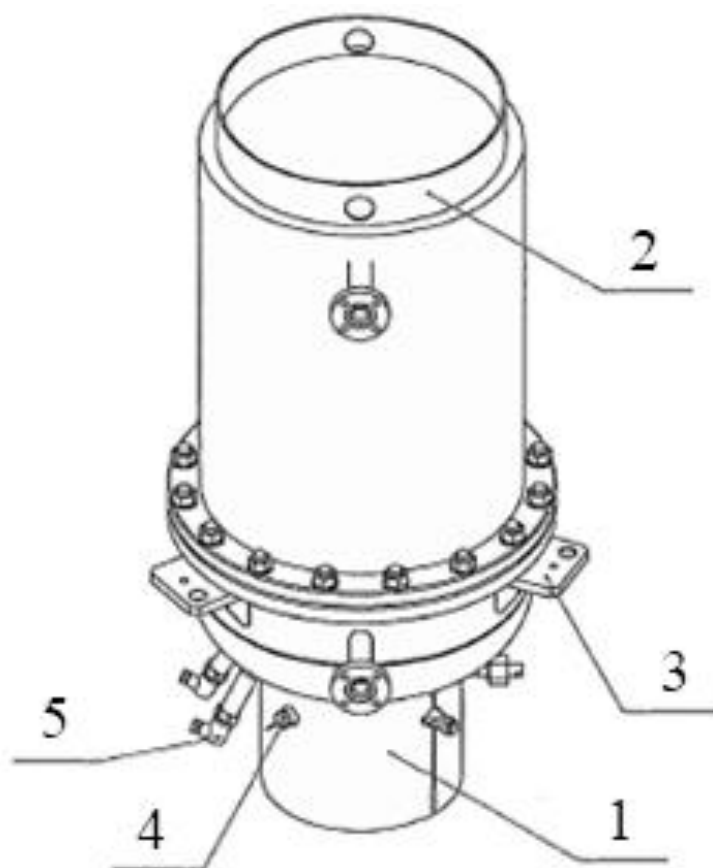


Рисунок 1.4 – Внешний вид технологического модуля: 1 – теплообменный элемент; 2 – корпус; 3 – опорная лапа; 4 – датчик температуры; 5 – датчик давления

Внутреннее устройство технологического модуля представлено на рисунке. 1.5 Технологический модуль состоит из теплообменного элемента 1, корпуса 2, внутреннего нагревателя 3, теплоизоляции 12. Теплообменный элемент состоит из сварных труб, эллиптического днища 4, фланца 5, обечайки 11, патрубка для входа/выхода рабочей среды. На трубе 6 размещены алюминиевые винтовые ребра 7 и две оребренные насадки 8, 9, формирующие рабочую поверхность технологического модуля. На наружной поверхности обечайки 11 приварены три опорные лапы 10 [18].

Теплообменный элемент конструктивно разделен на две части: первая – винтовые ребра 7, вторая – оребренные насадки 8, 9. Первая часть предназначена для обеспечения вместимости аппарата по UF_6 , а вторая для снижения проскока UF_6 через аппарат при работе в режиме «конденсация».

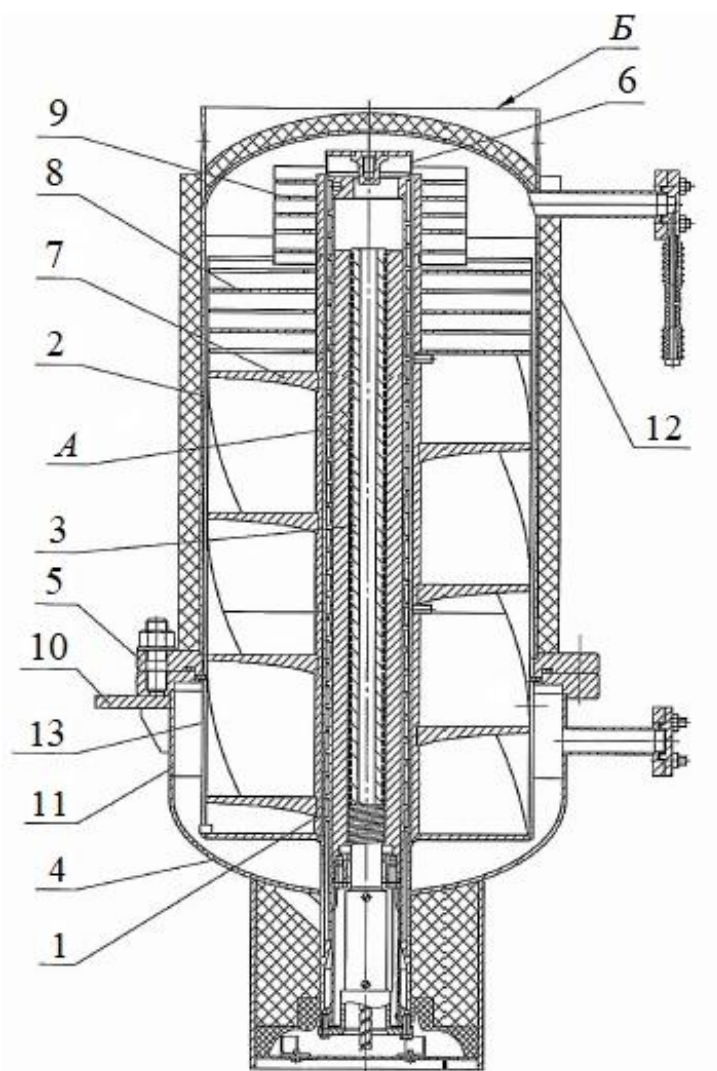


Рисунок 1.5 – Внутреннее устройство технологического модуля: 1 – теплообменный элемент; 2 – корпус; 3 – внутренний нагреватель; 4 – эллиптическое днище; 5 – фланец; 6 – труба; 7 – винтовые ребра; 8 – оребренная насадка; 9 – оребренная насадка; 10 – опорная лапа; 11 – обечайка; 12 – теплоизоляция; 13 – экраны, А – испарительная полость, Б – опорная поверхность

Все ребра закрываются экранами 13.

Внутренняя поверхность трубы 6 образует испарительную полость «А» контура охлаждения холодильной системы аппарата. Испарительная полость «А» предназначена для обеспечения охлаждения рабочей поверхности технологического модуля за счет кипения в ней хладагента при отрицательных температурах [18].

Внутренний нагреватель 3 предназначен для нагрева рабочей поверхности технологического модуля при работе аппарата в режиме «испарение». Для контроля давления в технологической полости и управления работой внутреннего нагревателя в режиме «испарение» технологический модуль оснащен датчиками давления 4 и температуры 5 (рисунке 1.4).

Шкаф управления предназначен для выполнения функций контроля (сбор и обработка информации с датчиков), управления исполнительными устройствами в автономном и дистанционном режимах, обеспечения выполнения блокировок и защит, а также обеспечения сопряжения аппарата с внешней автоматизированной системой управления технологическим процессом [18].

Весоизмерительная система предназначена для контроля массы UF_6 в технологическом модуле в режиме реального времени.

Аппарат рассчитан на непрерывную круглосуточную работу в закрытых производственных помещениях.

1.11 Установка W-ЭХЗ

На предприятиях по обогащению UF_6 получают два основных продукта – обогащённый UF_6 с повышенным относительно природного урана содержанием ^{235}U и обеднённый гексафторид урана (ОГФУ) [16].

В разных странах, в том числе и в России, разрабатывают способы конверсии ОГФУ, с целью переработки UF_6 в безопасную химическую форму (оксиды урана или тетрафторид урана) и извлечения фтора [16].

Один из примеров такого способа – французская технология пиролиза ОГФУ от концерна AREVA, по которой создана установка W-ЭХЗ в АО «ПО ЭХЗ» [16].

Продуктами пиролиза ОГФУ являются U_3O_8 и 70% фтороводородная кислота (ФВК) [16].

Сегодня сложно реализовать 70% ФВК, так как предложение превышает спрос, а отсутствие сертифицированных железнодорожных цистерн для этой кислоты затрудняет её транспортировку. Эти факторы мешают нормальной эксплуатации установки W-ЭХЗ, проектная мощность которой составляет 5000 т/год 70% ФВК [35].

С помощью перевода 70% ФВК в безводный фтороводород (БФВ) и менее концентрированную плавиковую кислоту можно решить эти проблемы. Качество продуктов зависит от содержания примесей в исходном ОГФУ. Предполагалось, что ОГФУ ядерно-чистое вещество, что позволит переработать его в БФВ и качественную плавиковую кислоту [36]. Данные продукты являются востребованными на предприятиях ядерного топливного цикла, их транспортировка отработана потребителями.

Принято решение о ректификационном разделении 70% ФВК для получения 2500 т/год плавиковой кислоты, которую планируется использовать в производстве UF_4 , и 2500 т/год БФВ, который при соблюдении качественных показателей [37] можно использовать для получения элементного фтора в сублиматном производстве. Эти продукты можно направить также на реализацию сторонним потребителям [35].

АО «ВНИИХТ» и АО «СХК» независимо рассчитали разгонку 70% кислоты и ректификационную колонну; но значения ряда параметров процесса получены с широким разбросом: флегмовое число составило 0,2...2,5 и 1,5...3,5 соответственно. Решено экспериментально проверить данные расчёты на укрупнённой лабораторной установке (рисунок 1.6), которая является прототипом промышленной колонны узла ректификации установки W-ЭХЗ [35].

Из ёмкости 1 начальная 70% ФВК поступала в середину насадочной части колонны. Расход кислоты контролировали мерником 2. С помощью омического нагревателя 5 поддерживали кипение кислоты в кубе колонны. Полученные фтороводородные пары поступали в охлаждаемый водой конденсатор 6 и далее в дефлегматор 7, из которого часть HF в виде флегмы возвращалась в колонну

для орошения, а часть – в сборник 8 для БФВ. Колонна непрерывно работала в течение 18 часов при полезной тепловой мощности 100 Вт и расходе исходной кислоты 400 г/час [16].



Рисунок 1.6 – схема лабораторной установки ректификации 70% ФВК

В результате исследований определено флегмовое число 2,3, необходимое для получения заданных конечных продуктов, которое согласуется с расчётными значениями, полученными ранее. Показано, что для обеспечения качественного дистиллята БФВ температура флегмы должна быть 20...28°C [35, 38, 39].

Высокую интенсивность тепломассообменных процессов, необходимую для получения кондиционной плавиковой кислоты, можно обеспечить поддержанием температуры в кубе колонны 115...130°C. При более низкой температуре образуется 46...50% ФВК [16].

Результаты эксперимента использованы при проектировании и создании участка ректификации 70% ФВК (рисунок 1.7) в составе установки W-ЭХЗ с получением 2500 т/год БФВ и 2500 т/год плавиковой кислоты [35, 38, 39].

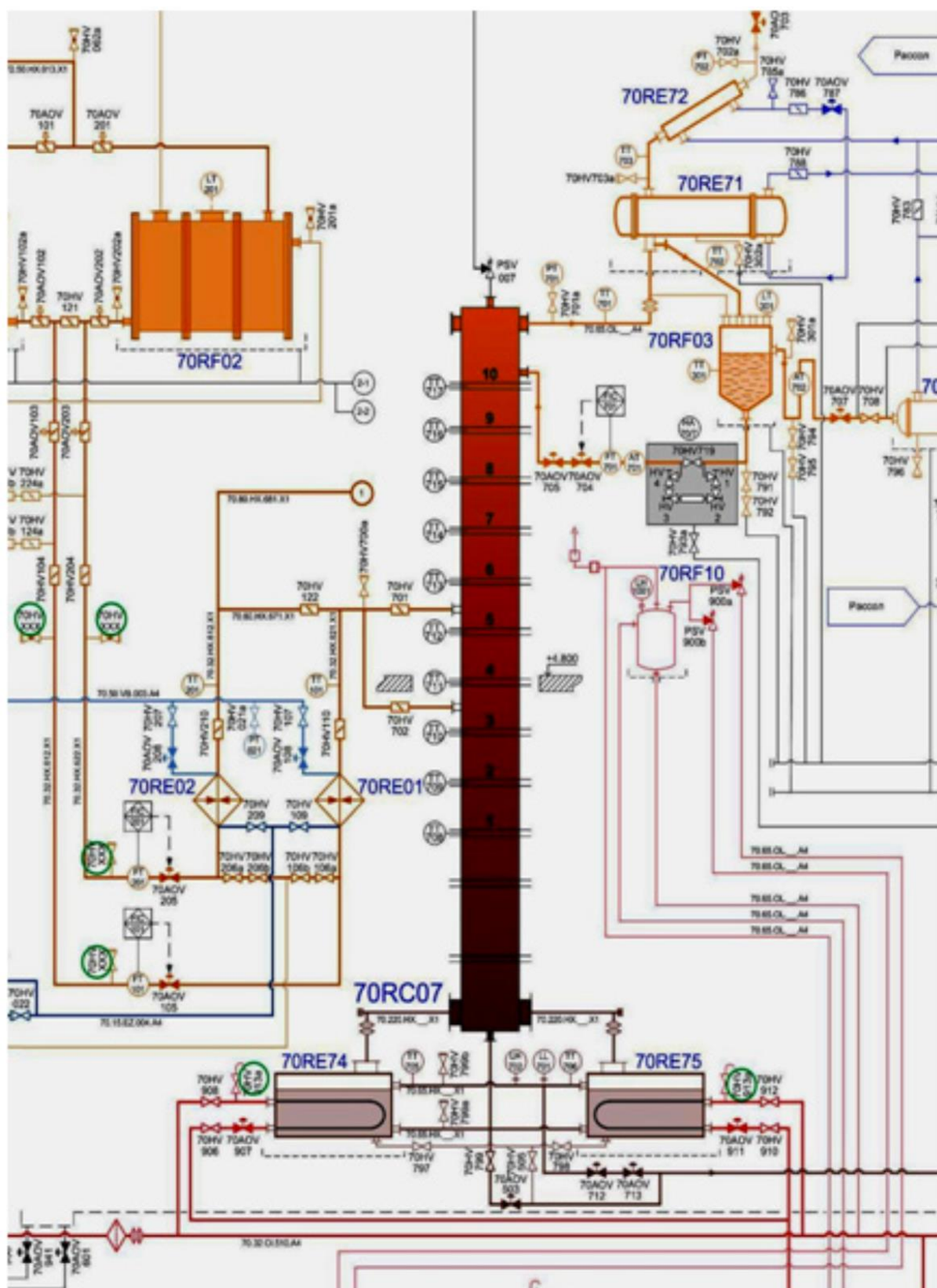


Рисунок 1.7 – Фрагмент участка ректификации

1.11.1 Процесс ректификации на промышленной установке W-ЭХЗ

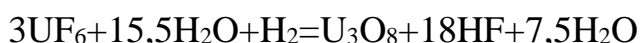
При пусконаладочных испытаниях узла ректификации переработано около 100 т 70% ФВК и получено около 50 т плавиковой кислоты и 50 т БФВ [16].

В полученном БФВ содержание HF равно 99,97...99,98 масс.%, что превосходит по качеству требования ГОСТа для продукта марки «А» и «Б» с содержанием примесей на уровне чувствительности методик [16].

Некоторые примеси в плавиковой кислоте имеют повышенное содержание. Это может быть обусловлено коррозией реактора пирогидролиза ОГФУ в сильноагрессивной среде, содержащей фтороводород и влагу, при температурах 750...930°C. Продукты коррозии попадают в исходную 70% ФВК, накапливаются при ректификации в кубовом остатке. В дистилляте, в отличие от ФВК, содержание примесей пропорционально снижается [40].

Следовательно, получение плавиковой кислоты из 70% ФВК по этой технологии [41] невозможно. При снижении температуры пирогидролиза ОГФУ ниже 600°C и изменении других параметров технологии по предложению российских ученых [40] можно избежать коррозии реактора пирогидролиза.

70% ФВК образуется при пирогидролизе ОГФУ при температуре до 930°C при практически 100% избытке воды:



Представляет интерес вопрос загрязняется ли 70% ФВК ураном и насколько?

UF₆ является единственным летучим соединением урана. При взаимодействии с водой он образует нелетучий уранилфторид. Из-за незначительного восстановления урана в среде фтороводородных кислот может также присутствовать нелетучий UF₄. Эти твердые соединения при ректификации должны оставаться в плавиковой кислоте. Анализ полученной кислоты и кислоты марки «ОСЧ», произведённой в ОАО «Галоген», показал, что содержание урана не превышает 5 ppm [16].

Это может быть вызвано тем, что «Физические и химические свойства урана, например, высокая химическая активность, многовалентность и высокая растворимость солей, обуславливают широкую распространённость урана в природе, вызывая его рассеивание» [42].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ UF_6 В ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОГРУЖНЫЕ ЕМКОСТИ

2.1 Объект исследования

В качестве объекта исследования выступала вертикальная погружная емкость объемом 60 л с горизонтальным оребрением (рисунок 2.1а). Расчетную область для данной емкости представляли в виде объекта, который разбит на три подобласти: верхняя часть емкости (подобласть I), объем емкости с оребрением (подобласть II), нижняя часть емкости (подобласть III) (рисунок 2.1б). Чертеж этой емкости изображен на рисунке .2.2.

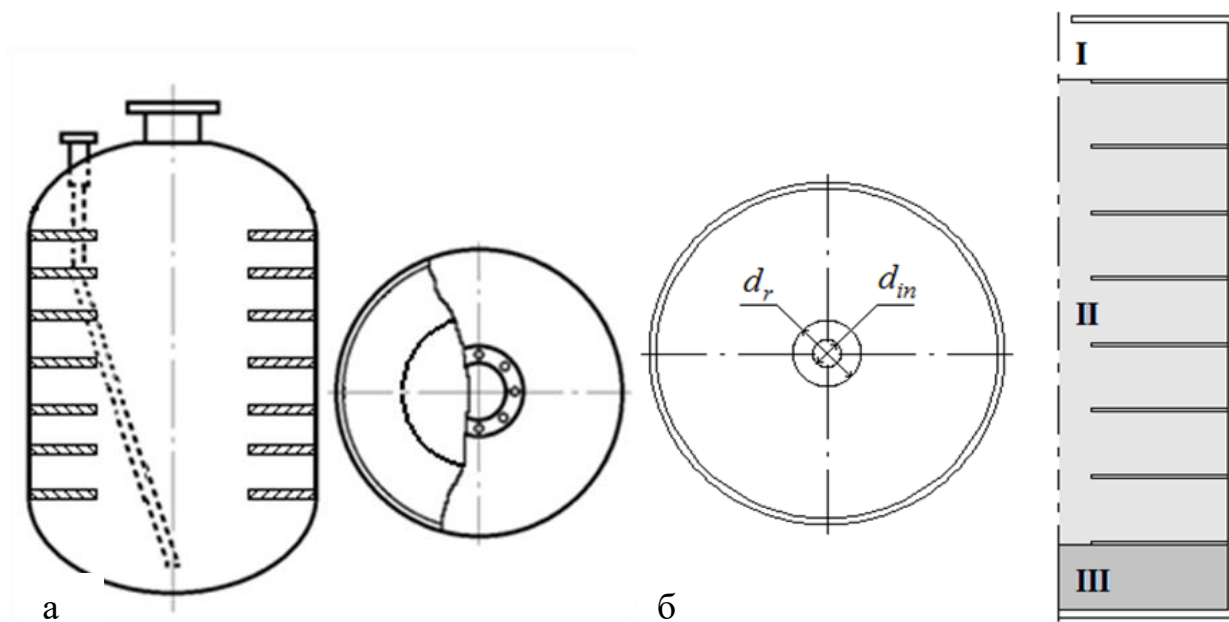


Рисунок 2.1 – а - вертикальная погружная емкость с горизонтальным оребрением

б – схема разбиения расчетной области на подобласти,

d_{in} – диаметр входного отверстия емкости,

d_r – диаметр центрального отверстия ребра

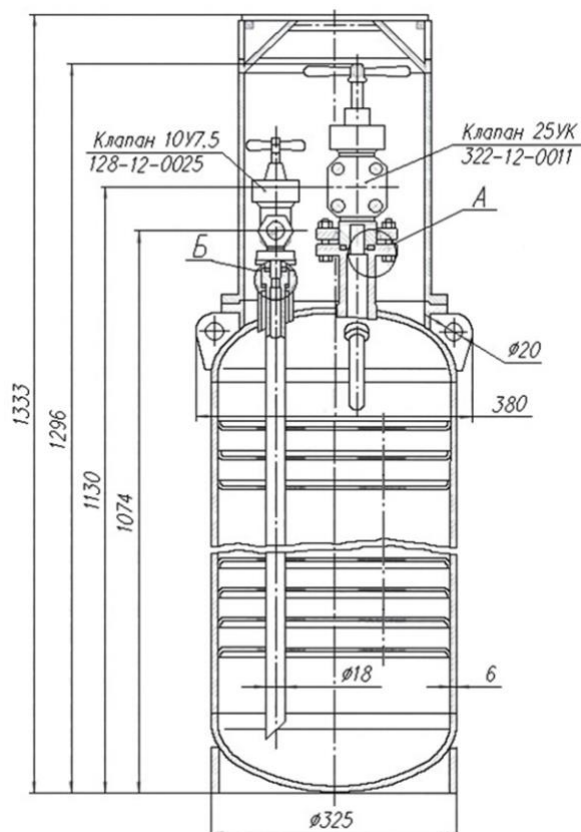


Рисунок 2.2 – Чертёж ёмкости объемом 60 литров

2.2 Двухмерная математическая модель процесса десублимации UF_6

В связи с тем, что скорость протекания процесса десублимации UF_6 зависит не только от условий теплообмена газообразного UF_6 с хладагентом, но и от условий подвода массы к поверхности теплообмена, для учета газодинамической составляющей процесс десублимации UF_6 был рассмотрен в двумерной постановке.

Ёмкость представляли в виде цилиндра, в который через входное отверстие в верхней части поступает газообразный UF_6 . Ось симметрии патрубка совпадает с осью симметрии цилиндра, поэтому расчет проводили в цилиндрической системе координат. Расчетная область представлена на рисунке 2.3.

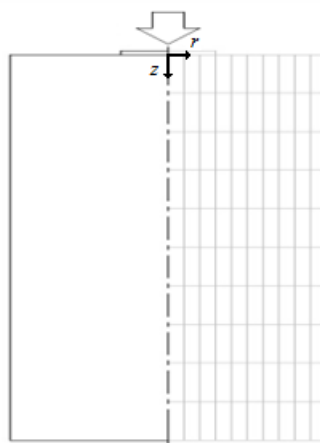


Рисунок 2.3 – Расчетная область для цилиндрической емкости

Для учета эллиптичности донной стенки емкость представляли в форме цилиндра объема, у которого донная стенка имеет скругление в форме эллипса, выполненного согласно ГОСТ 6533-78 [43] (рисунок 2.3). Объем емкости при этом оставался неизменным. Вводились уравнения, описывающие зависимости $z(r)$ и $r(z)$:

$$r = \sqrt{\frac{1 - \frac{z^2}{R_{el}^2}}{R^2}}, \quad z = \sqrt{\frac{1 - \frac{r^2}{R^2}}{R_{el}^2}}, \quad (2.1)$$

где R – радиус емкости, R_{el} – радиус скругления донной части емкости, r , z – переменные цилиндрической системы координат.

Расчетная область (рисунок 2.4а) разбивалась не ортогональной сеткой на контрольные объемы (КО), что значительно усложняло получение решения на ней дифференциальных уравнений из-за необходимости введения в систему уравнений коэффициентов Ламе [44] для учета изменения угла между нормалью к КО и координатными линиями, а также необходимости учета смешанных производных при записи уравнений газовой динамики и теплопроводности. С целью предотвращения перехода к криволинейной системе координат проводилась дискретизация расчетной области, не структурированной прямоугольной разностной сеткой (рисунок 2.4б), что упрощало получение решения дифференциальных уравнений.

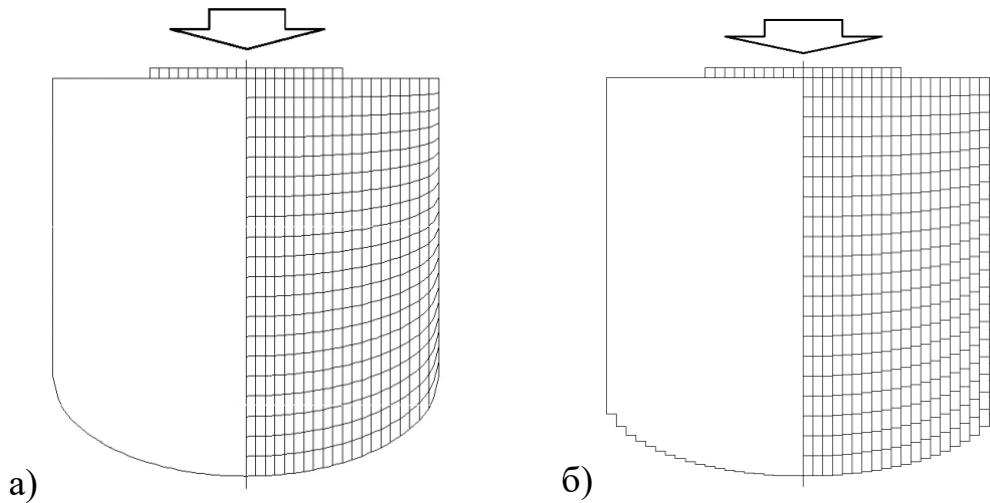


Рисунок 2.4 – Расчетная область с учетом эллиптичности донной стенки емкости

- а) расчетная область до дискретизации расчетной сетки,
- б) расчетная область после дискретизации расчетной сетки

Аналогично осуществляли учет эллиптичности обеих торцевых стенок емкости. Сначала расчетная область разбивалась структурированной равномерной сеткой, после чего также проводилась ее дискретизация (рисунок 2.5).

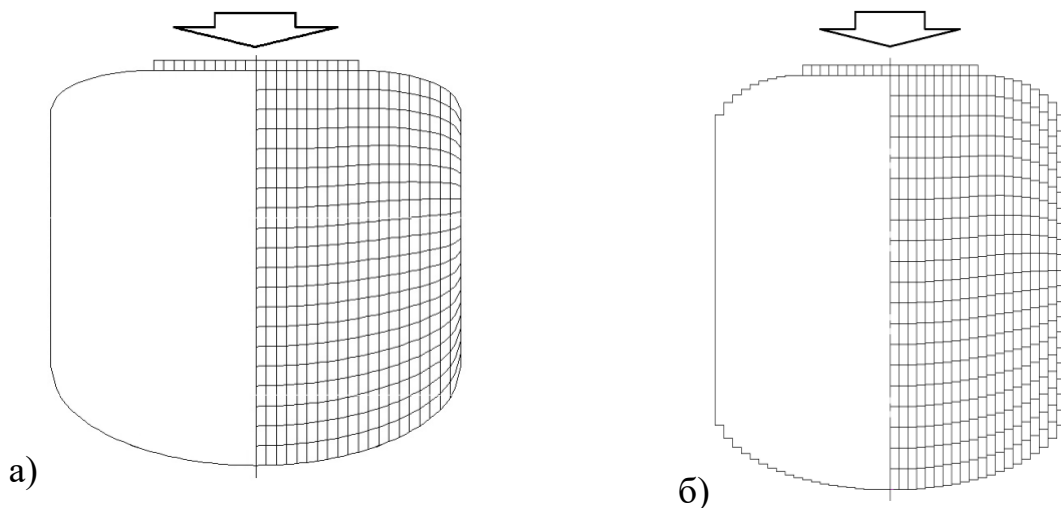


Рисунок 2.5 – Расчетная область с учетом эллиптичности обеих стенок емкости

- а) расчетная область до дискретизации расчетной сетки,
- б) расчетная область после дискретизации расчетной сетки

2.3 Постановка задачи

При построении двухмерной математической модели нестационарного процесса десублимации UF_6 был принят ряд допущений касающихся того, что десублимация UF_6 происходит только на боковой и донной стенках емкости; их температура постоянна и равна температуре хладагента; интенсивность процесса определяется теплоотводом через стенку емкости и слой десублимата, при этом тепло, выделяемое при фазовом переходе, отводится хладагентом; температура фазового перехода определяется по давлению газообразного UF_6 над слоем десублимата и равна равновесной температуре; при охлаждении газообразного UF_6 до температуры фазового перехода изменение энтальпии пренебрежимо мало по сравнению с теплотой десублимации; в пределах каждой из фаз имеет место локальное термодинамическое равновесие и происходит только поверхностная десублимация; легкой примесью является газообразный HF (его концентрация по данным анализа состава легких примесей составляет 90%), компоненты газовой смеси UF_6 -HF являются идеальными газами и в процессе заполнения емкостей десублимированным UF_6 HF остается газообразным; при наличии в UF_6 легкой примеси (HF) термодиффузия, барродиффузия и диффузионный термоэффект являются эффектами второго порядка (их влияние на процесс десублимации UF_6 не учитывается); в рассматриваемой системе химические реакции не протекают.

Далее была проведена оценка характерных значений критериев подобия, существенных для данной задачи.

Поскольку характер газодинамических процессов во всех вертикальных погружных емкостях при их заполнении одинаков, то в качестве характерной произвольно выбрана емкость с гладкими внутренними стенками черт. 322-47-0018 коллектора отбора тяжелой фракции каскада (К-03) объемом 2,5 м³; внутренний радиус 0,6 м; толщина стенки – 16 мм; высота емкости 2,396 м, основной материал – сталь 20, ГОСТ 1577-93 [45].

В качестве линейного масштаба L выбран радиус емкости. Температуру газа на входе емкости считали равной 30°C , а температуру хладагента – минус 20°C . Таким образом, характерная разница температур ΔT составляла 50°C . Давление в коллекторе на входе ёмкости P составляло 80 мм рт. ст. Для расчета температуры поверхности раздела фаз твердого и газообразного UF_6 использовали уравнение состояния:

$$P_{\text{UF}}=133,322 \cdot \exp\left(-132,869 - \frac{344490}{T^2} + \frac{707,31}{T} + 26,436 \cdot \ln T - 0,038674 \cdot T\right), [\text{Па}]. \quad (2.2)$$

Теплофизические свойства газообразного UF_6 определяли по уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(a_1 \frac{\partial T}{\partial x} \right) &= -a_2 \frac{\partial T}{\partial x} + a_4 + a_6 \frac{\partial T}{\partial t}, \\ a_w \left(a_1 \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \beta_w T \Big|_{x=x_w} &= f_w, \\ a_0 \left(a_1 \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \beta_0 T \Big|_{x=0} &= f_0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $a_1 = \lambda$ – коэффициент теплопроводности материала, $[\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м} \cdot \text{с})]$; $a_2 = Fi \cdot \rho \cdot C_p \cdot v_k$ – коэффициент перед конвективным членом уравнения теплопроводности (Fi – доля массы в конвекции $0 < Fi < 1$; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_p – теплоемкость материала, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; v_k – скорость движения границы раздела газообразный – твердый UF_6 за счет фазового перехода), $[\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с})]$; a_4 – источник тепла, $[\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с})]$; $a_6 = \rho \cdot C_p$ – коэффициент перед нестационарным членом уравнения теплопроводности, $[\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с})]$.

Область решения разбивали неравномерной сеткой на N отрезков, чтобы узлы сетки совпадали с местом контакта стенки и твердого UF_6 . На i -ом интервале с шагом $h_i = x_i - x_{i-1}$ искомую функцию F и коэффициенты a_i представляли в виде многочлена первой степени:

$$\begin{aligned} T^{(i)} &= C^{(i)}x + D^{(i)}, \quad a_k^{(i)} = A_k^{(i)}x + B_k^{(i)}, \quad k=1,2,4,6 \quad i=\overline{1,N}, \\ C^{(i)} &= \frac{F_i - F_{i-1}}{h_i}, \quad D^{(i)} = \frac{F_{i-1}x_i - F_i x_{i-1}}{h_i}, \\ A_k^{(i)} &= \frac{a_{k,i} - a_{k,i-1}}{h_i}, \quad B_k^{(i)} = \frac{a_{k,i-1}x_i - a_{k,i}x_{i-1}}{h_i}, \quad x \in [x_{i-1}, x_i]. \end{aligned} \quad (2.4)$$

После интегрирования получили:

$$(A_1^{(i)}x+B_1^{(i)})\frac{\partial T}{\partial x} = -(A_2^{(i)}\frac{x^2}{2}+B_2^{(i)}x)C^{(i)}+(A_4^{(i)}\frac{x^2}{2}+B_4^{(i)}x)+(A_6^{(i)}\frac{x^2}{2}+B_6^{(i)}x)\frac{\partial T}{\partial t}+C_1 \quad (2.5)$$

$$(A_1^{(i)}x+B_1^{(i)})T^{(i)} = (C^{(i)}\frac{x^2}{2}+D^{(i)}x)-(A_2^{(i)}\frac{x^3}{6}+B_2^{(i)}\frac{x^2}{2})C^{(i)} \\ + (A_4^{(i)}\frac{x^3}{6}+B_4^{(i)}\frac{x^2}{2})+(A_6^{(i)}\frac{x^3}{6}+B_6^{(i)}\frac{x^2}{2})\frac{\partial T}{\partial t}+C_1x+C_2=\Psi(x). \quad (2.6)$$

Коэффициенты динамической вязкости μ_{HF} , и коэффициент теплопроводности λ_{HF} газообразного HF рассчитывали по формулам:

$$\mu_{HF} = \left(\frac{4,610 \cdot T_r^{0,618} - 2,04 \cdot e^{-0,449 \cdot T_r} + 1,94 \cdot e^{-4,058 \cdot T_r} + 0,1}{T_c^{1/6} M_{HF}^{1/2} P_c^{-2/3}} \right) \cdot 10^{-5}, \text{ [Па}\cdot\text{с]}; \quad (2.7)$$

$$\lambda_{HF} = 35,6 \cdot \left(\frac{T}{273} \right), \text{ [Вт/м}\cdot\text{К]}. \quad (2.8)$$

где T_r – приведенная температура HF, M_{HF} – молярная масса HF, T_c – критическая температура, P_c – критическое давление.

Расчет коэффициентов теплопроводности и вязкости бинарной газовой смеси UF₆–HF осуществляли по методу Уилке [46]:

$$f_{sm} = \frac{f_{UF} \cdot m_{UF}}{m_{UF} + m_{HF} \Phi_{12}} + \frac{f_{HF} \cdot m_{HF}}{m_{HF} + m_{UF} \Phi_{21}}, \quad (2.9)$$

$$\Phi_{12} = k \cdot \frac{\left(\frac{M_{UF}}{M_{HF}} \right) \left[1 + \left(\frac{\lambda_{UF}}{\lambda_{HF}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{M_{HF}}{M_{UF}} \right)^{1/4} \right]^2}{\left\{ 8 \cdot \left[1 + \left(\frac{M_{UF}}{M_{HF}} \right) \right] \right\}^{1/2}}, \quad \Phi_{21} = k \cdot \frac{\left(\frac{M_2}{M_1} \right) \left[1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{1/4} \right]^2}{\left\{ 8 \cdot \left[1 + \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \right\}^{1/2}}, \quad (2.10)$$

где f_{sm}, f_{UF}, f_{HF} – динамическая вязкость (коэффициент теплопроводности) смеси газов, UF₆ и HF, μ_{UF}, μ_{HF} – динамическая вязкость чистых компонентов UF₆ и HF, $\lambda_{UF}, \lambda_{HF}$ – коэффициент теплопроводности UF₆ и HF, m_{UF}, m_{HF} – массовые доли UF₆ и HF.

При расчете динамической вязкости $k=1$, а при расчете коэффициента теплопроводности $k=0,85$.

Для определения коэффициента диффузии бинарной смеси UF₆–HF использовали формулу:

$$D_{12} = \frac{AT^{3/2} \left(\frac{1}{M_{UF}} + \frac{1}{M_{HF}} \right)^{1/2}}{P(V_{k_{UF}}^{1/3} + V_{k_{UF}}^{1/3}) \left[1 + \left(\frac{BT_{k_{UF-HF}}}{T} \right) \right]}, \quad (2.11)$$

$$T_{k_{UF-HF}} = \sqrt{T_{k_{UF}} + T_{k_{HF}}}, \quad (2.12)$$

где V_k и T_k – критический объем (см³/моль) и критическая температура (К) газов, M – молярные массы веществ (кг/моль), P – давление (атм).

Для системы, включающей смесь полярного (HF) и неполярного (UF₆) газов авторами [47] рекомендовано использовать значения $A=0,02023$, $B=0,90116$.

Для оценки характерных времен задачи определяли характерную скорость движения фронта фазового перехода U_{gran} и характерную скорость течения газа U_{gas} в емкости. Расчет U_{gran} осуществлялся с использованием условия Стефана:

$$U_{gran} = \frac{\lambda_s}{\rho_s L_{UF}} \frac{\Delta T}{L}, \quad [\text{м/с}], \quad (2.13)$$

которая связана с U_{gas} соотношением:

$$U_{gas} \rho_{UF} = U_{gran} \rho_U, \quad (2.14)$$

откуда

$$U_{gas} = \frac{\rho_{UF} U_{gran}}{\rho_U}, \quad [\text{м/с}]. \quad (2.15)$$

Для рассматриваемой емкости $U_{gran}=5,656 \cdot 10^{-8}$ м/с и $U_{gas}=1,18 \cdot 10^{-8}$ м/с. Значения характерных времен задачи определяли по формулам:

$$\tau_1=L/U_{gas}, \tau_2=L/U_{gran}, \tau_3=L/a, \quad (2.16)$$

где τ_1 – термодинамическое, τ_2 – конвективное и τ_3 – гидродинамическое время; a – скорость звука, для оценки которой используется формула $a=(\gamma RT/M_{UF})^{1/2}$, $R=8314$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

Получили значения $\tau_1=10,6 \cdot 10^6$ с (2946,9 часа), $\tau_2=5,07 \cdot 10^3$ с (84,5 мин.), $\tau_3=6,896 \cdot 10^{-3}$ с.

В связи с тем, что характерные гидродинамическое и конвективное времена малы, по сравнению с характерным термодинамическим временем,

сделано заключение, что равновесное состояние конвективного и гидродинамического процессов наступает существенно раньше равновесного состояния тепло– и массообменных процессов, поэтому характер течения газообразного UF_6 оказывает влияние на процесс десублимации UF_6 только на его начальной нестационарной стадии. После установления гидростатического давления в емкости (в случае отсутствия нестационарных возмущений) допускается рассмотрение задачи в стационарном приближении.

Число Рейнольдса для рассматриваемой задачи

$$Re = \frac{\rho U_{gas} L}{\mu} \approx 10, \quad (2.17)$$

следовательно, течение в емкости является вязким и ламинарным.

Число Маха M и параметр гидростатической сжимаемости ε_g :

$$M = \frac{U_{gas}}{a} \approx 10^{-6}, \quad \varepsilon_g = \frac{gLM}{RT} \approx 10^{-2}. \quad (2.18)$$

Поскольку $M \ll 1$ и $\varepsilon_g \ll 1$, то течение газообразного UF_6 в емкости будет дозвуковым и несжимаемым.

О соотношении конвективного и диффузионного массопереноса газообразного UF_6 можно судить по величине числа Пекле:

$$Pe = \frac{\rho_g c_p UL}{\lambda_g} \approx 10^{-2}. \quad (2.19)$$

Для рассматриваемого случая оценка числа Пекле показывает, что в газовой фазе доминирующими механизмами тепло– и массопереноса являются теплопроводность и диффузия.

Подобие температурных и скоростных полей определяется величиной числа Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda_g} \approx 10^{-3}. \quad (2.20)$$

Поскольку значение критерия подобия существенно меньше 1, то можно сказать, что интенсивность изменения температурных полей в емкости выше, значит характерные времена задачи вычислены правильно.

Течение газообразного UF₆ описали с помощью системы уравнений газовой динамики [48], которая в векторной форме выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \cdot \rho \mathbf{V} = 0, \quad (2.21)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \tau} + \rho \left(\mathbf{V} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \right) \mathbf{V} = - \frac{\partial P}{\partial \mathbf{r}} + \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \cdot \mu \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{r}} \right) + \rho \mathbf{g}, \quad (2.22)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} + \rho \mathbf{V} \cdot \frac{\partial T}{\partial \mathbf{r}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \cdot \mathbf{q}_i, \quad (2.23)$$

$$\rho \frac{\partial c_i}{\partial \tau} + \rho \mathbf{V} \cdot \frac{\partial c_i}{\partial \mathbf{r}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}} \cdot \mathbf{J}_i, \quad (2.24)$$

$$p = \rho T R \sum_{i=1}^{N_k} \frac{c_i}{m_i}. \quad (2.25)$$

где r – радиус-вектор; V – тензор скоростей; q – вектор плотности теплового потока; J – вектор плотности потока массы i -ой компоненты; i – номер компоненты; N_k – число компонент смеси; m_i – молекулярный вес i -ой компоненты.

В цилиндрической системе координат система уравнений (2.21)–(2.25) запишется в виде:

$$\frac{\partial r\rho}{\partial \tau} + \frac{\partial r\rho u}{\partial r} + \frac{\partial r\rho v}{\partial z} = 0, \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial r\rho u}{\partial \tau} + \frac{\partial r\rho u^2}{\partial r} + \frac{\partial r\rho v u}{\partial z} = - \frac{\partial rP}{\partial r} + r\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial r\rho v}{\partial \tau} + \frac{\partial r\rho v u}{\partial r} + \frac{\partial r\rho v^2}{\partial z} = - \frac{\partial rP}{\partial z} - \rho u v + r\mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + r\rho g, \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial r c p T}{\partial \tau} + \frac{\partial r\rho u T}{\partial r} + \frac{\partial r\rho v T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial r\rho T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial r\rho T}{\partial z} \right), \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial r\rho c_i}{\partial \tau} + \frac{\partial r\rho u c_i}{\partial r} + \frac{\partial r\rho v c_i}{\partial z} = \frac{\partial r J_{ir}}{\partial r} + \frac{\partial r J_{iz}}{\partial z}, \quad (2.30)$$

Для определения температуры в слое образовавшегося десублимата (твердого UF₆) и величины теплового потока от газообразного UF₆ через слой десублимата и стенку емкости к хладагенту использовали стандартное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial r c p T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_{UF} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(r \lambda_{UF} \frac{\partial T}{\partial z} \right). \quad (2.31)$$

Для замыкания полученной системы уравнений использовали температурные зависимости (2.17)–(2.20), уравнение состояния (2.25) и уравнение теплопроводности (2.31).

После вычисления тепловых потоков на внутренней и внешней поверхности стенок по условию Стефана (2.32) определялась масса перешедшего в твердое состояние UF_6 и скорость движения поверхности раздела фаз.

$$\rho_U v_w(t) L = \lambda_{UF} \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_w}. \quad (2.32)$$

При решении уравнений (2.25)–(2.30) определяли скорости течения газовой смеси (UF_6 и HF) и давление в объеме емкости, занятом ею. Температура фазового перехода UF_6 определялась методом бисекций [49] по зависимости давления насыщенных паров UF_6 от температуры над поверхностью фазового перехода (уравнение (2.2)). Температура внешней поверхности емкости, согласно принятому допущению 2, равна температуре хладагента.

Считали, что до десублимации температура всех стенок емкости (кроме верхней) равна температуре хладагента, а слой десублимата в начальный момент отсутствует.

Для скорости течения газообразного UF_6 на верхней стенке емкости задавали условия прилипания и непротекания. На боковой и донной стенках емкости считали скорость течения газообразного UF_6 равной скорости десублимации.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной главе проведены расчеты динамики заполнения емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ с горизонтальным ребрением десублимированным UF_6 , сделана оценка влияния толщины горизонтальных ребер (δ , м), расстояния между ними, количества ребер на среднюю производительность емкости.

3.1 Расчет зависимости средней производительности емкости от толщины горизонтальных ребер

В расчетах диаметр центрального отверстия ребер составлял $6,4 \cdot 10^{-2}$ м, расстояние между ребрами $4,0 \cdot 10^{-2}$ м, расстояние от дна емкости до нижнего ребра $1,76 \cdot 10^{-1}$ м, радиус емкости $1,5 \cdot 10^{-2}$ м, ее высота $8,48 \cdot 10^{-1}$ м, толщина стенки емкости $6,0 \cdot 10^{-3}$ м, давление в коллекторе 80 мм рт. ст. (10665,8 Па), давление внутри емкости 4 мм рт. ст. (533,29 Па), температура газообразного UF_6 в коллекторе 30°C , температура хладагента минус 25°C , степень заполнения емкости 70% ее свободного объема, число ребер 13 шт., толщина ребер изменялась с $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $7,0 \cdot 10^{-3}$ м с шагом $1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Полученная зависимость средней производительности емкости от толщины горизонтальных ребер представлена на рисунке 3.1.

Из рисунка 3.1 видно, что при уменьшении толщины горизонтального ребра с $7,0 \cdot 10^{-3}$ м до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м средняя производительность емкости увеличивается с $4,505 \cdot 10^{-3}$ до $4,866 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 8%), то есть чуть больше 1% на $1,0 \cdot 10^{-3}$ м толщины ребра.

В стандартной емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ толщина ребер составляет $2,0 \cdot 10^{-3}$ м. Уменьшать толщину ребер до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м, по-видимому, не целесообразно. К существенному увеличению средней производительности емкости это не приведет, но может вызвать деформацию ребер под действием массы нарастающего на них десублимата и нарушению тем самым нормального режима их работы.

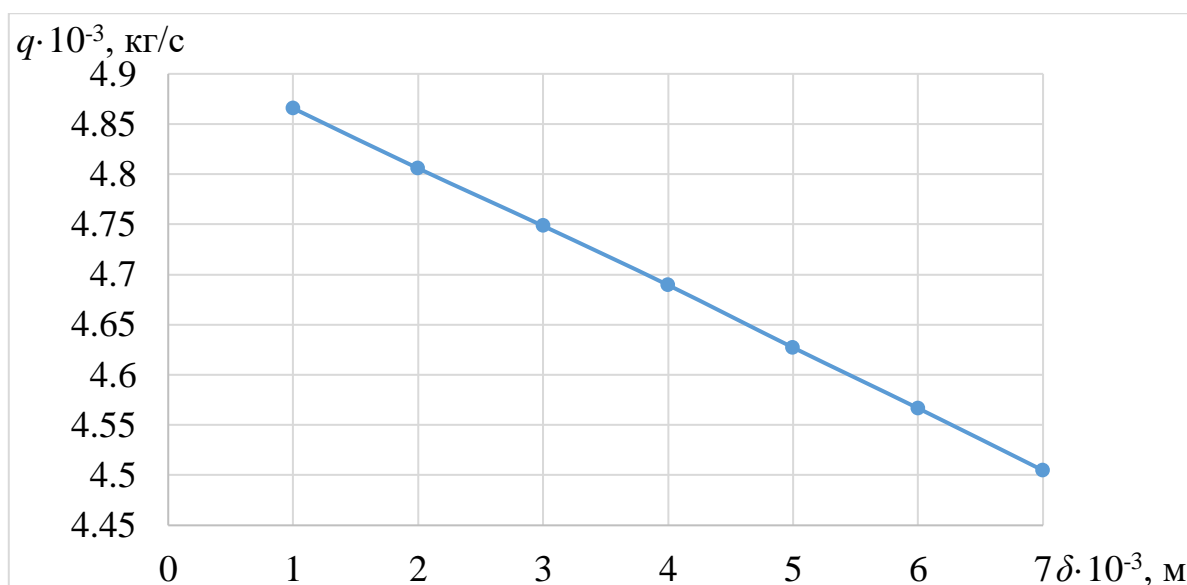


Рисунок 3.1 – Зависимость средней производительности емкости от толщины горизонтальных ребер

3.2 Расчет зависимости средней производительности емкости от расстояния между горизонтальными ребрами

Расчеты проводились при условиях, описанных в п. 3.1. Толщина горизонтальных ребер составляла $2,0 \cdot 10^{-3}$ м, расстояние между ребрами изменяли от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $5,0 \cdot 10^{-2}$ м с шагом $5,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Полученная зависимость представлена на рисунке 3.2.

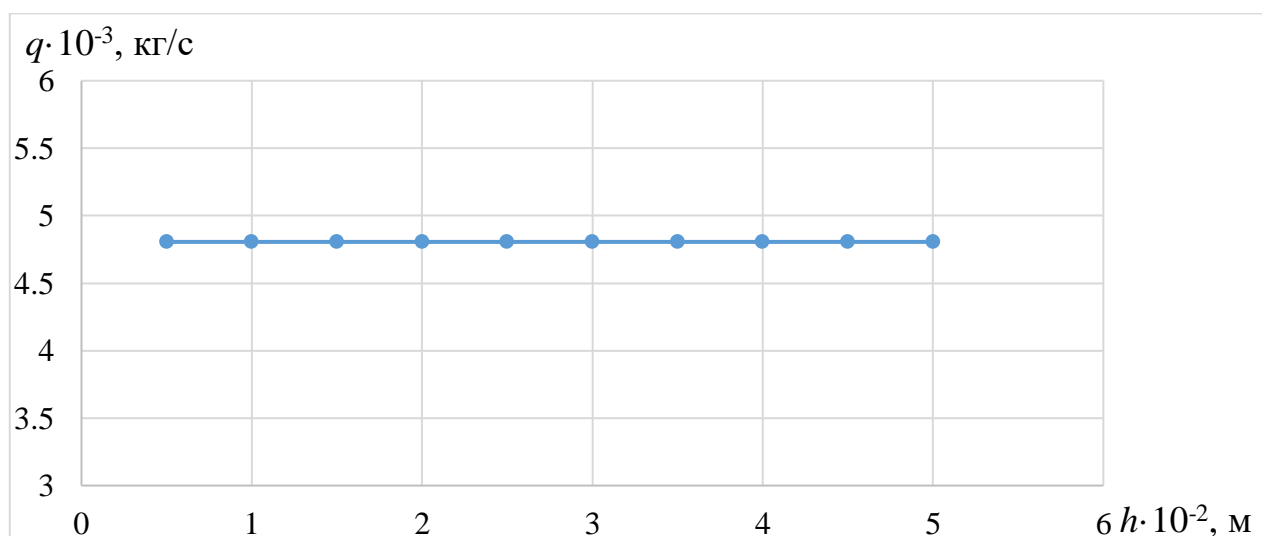


Рисунок 3.2 – Зависимость средней производительности емкости от расстояния между горизонтальными ребрами

Из рисунка 3.2 видно, что при изменении расстояния между горизонтальными ребрами в указанных пределах средняя производительность емкости не изменяется и составляет $4,806 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

3.3 Расчет зависимости средней производительности емкости от количества горизонтальных ребер

Расчеты проводились при условиях, описанных в п. 3.1. Толщина ребер составляла $2,0 \cdot 10^{-3}$ м, расстояние между ребрами $3,0 \cdot 10^{-2}$ м, количество ребер N изменяли с 2 до 19 шт. с шагом в 1 ребро.

Полученная зависимость приведена на рисунке 3.3.

Из рисунка 3.3 видно, что при увеличении количества ребер с 2 до 8 производительность емкости практически линейно увеличивается с $1,57 \cdot 10^{-3}$ кг/с до $2,11 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 34,5%). При дальнейшем увеличении количества ребер с 9 до 19 она увеличивается уже нелинейно с $2,43 \cdot 10^{-3}$ кг/с до $5,84 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 140%).

На рисунке 3.4 приведена полученная зависимость степени заполнения емкости от количества горизонтальных ребер, а на рисунке 3.5 – зависимость массы десублимированного UF_6 от времени десублимации для разного количества горизонтальных ребер. Из рисунков 3.4 и 3.5 видно, что при увеличении количества горизонтальных ребер с 2 до 9 степень заполнения емкости изменяется от 46,31% до 69,97%, то есть она не заполняется до заданного значения (70%) из-за «перемерзания» центрального отверстия на верхнем ребре (рисунок 3.6). При количестве горизонтальных ребер с 10 до 19 достигается заданная степень заполнения емкости 70% и средняя производительность емкости увеличивается на 80%. Увеличение количества ребер с 13 шт. в стандартной емкости до 19 шт. приводит к увеличению ее средней производительности на 21,4%. Увеличение средней производительности емкости объясняется увеличением площади теплообменной поверхности её ребер на 55% при увеличении количества

горизонтальных ребер с 10 до 19 шт. и на 31% при увеличении количества горизонтальных ребер с 13 до 19 шт. (рисунок 3.7).

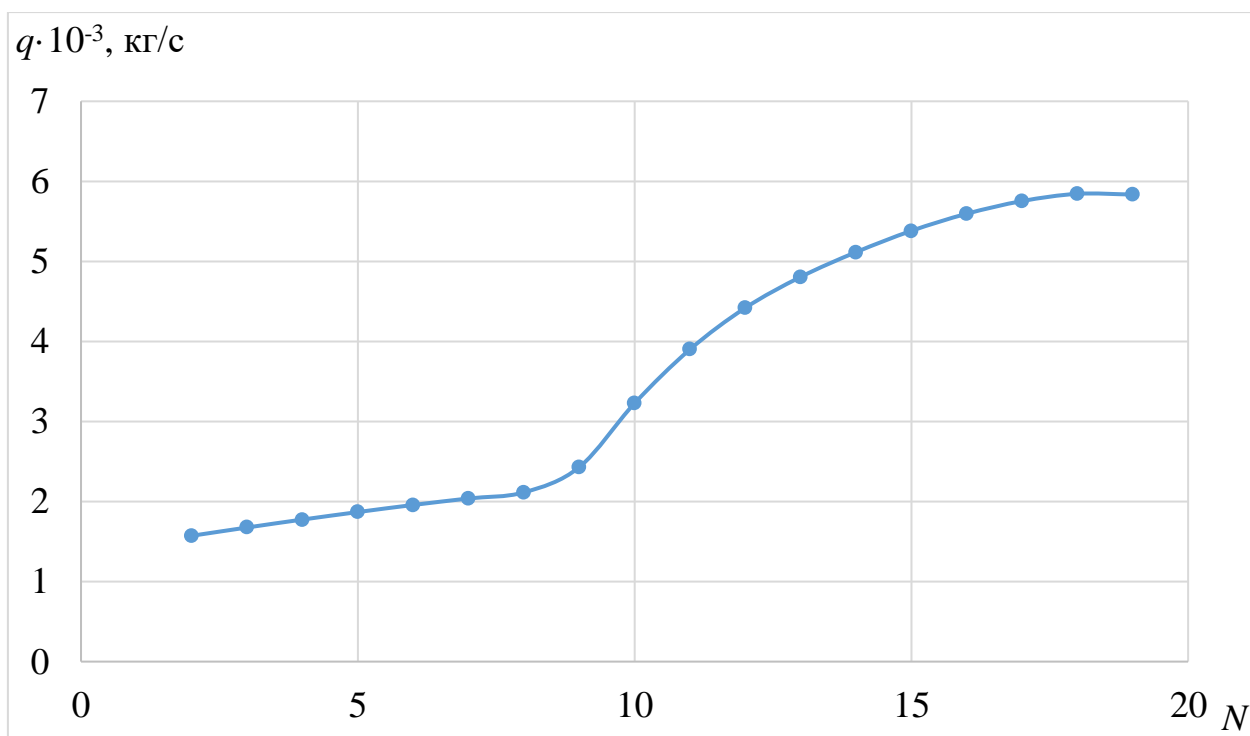


Рисунок 3.3 – Зависимость средней производительности емкости от количества горизонтальных ребер

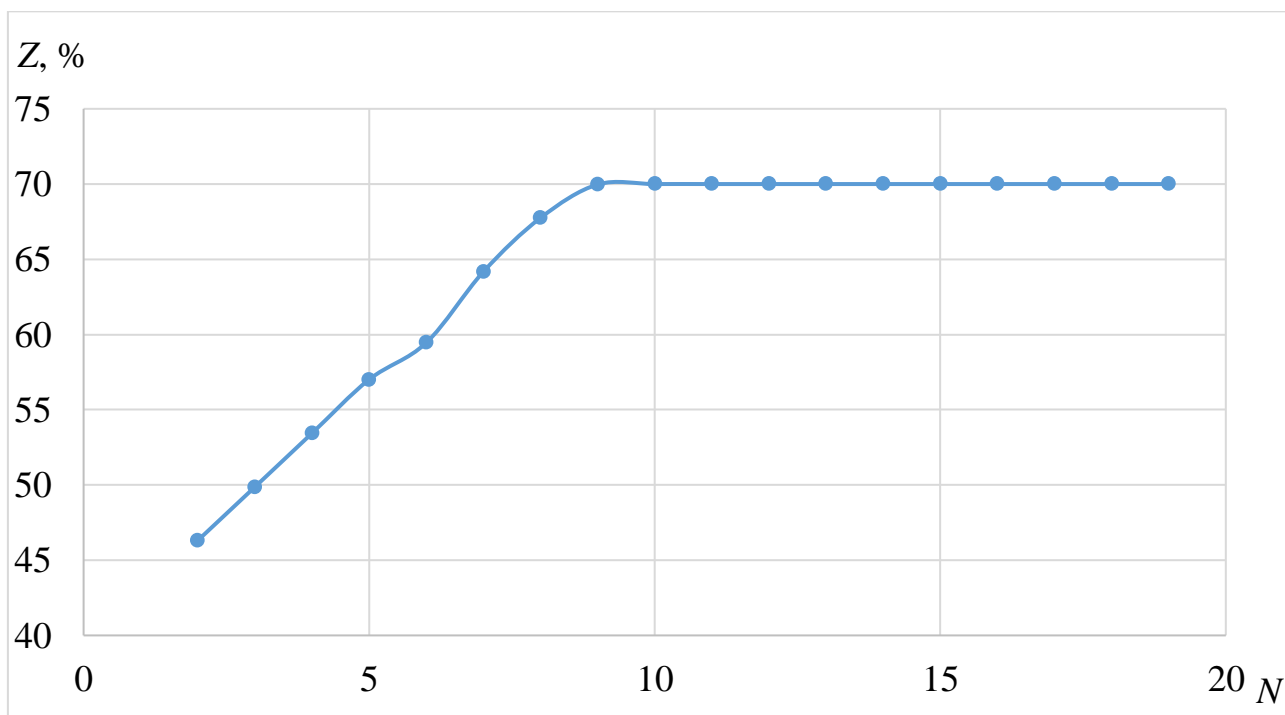


Рисунок 3.4 – Зависимость степени заполнения емкости от количества горизонтальных ребер

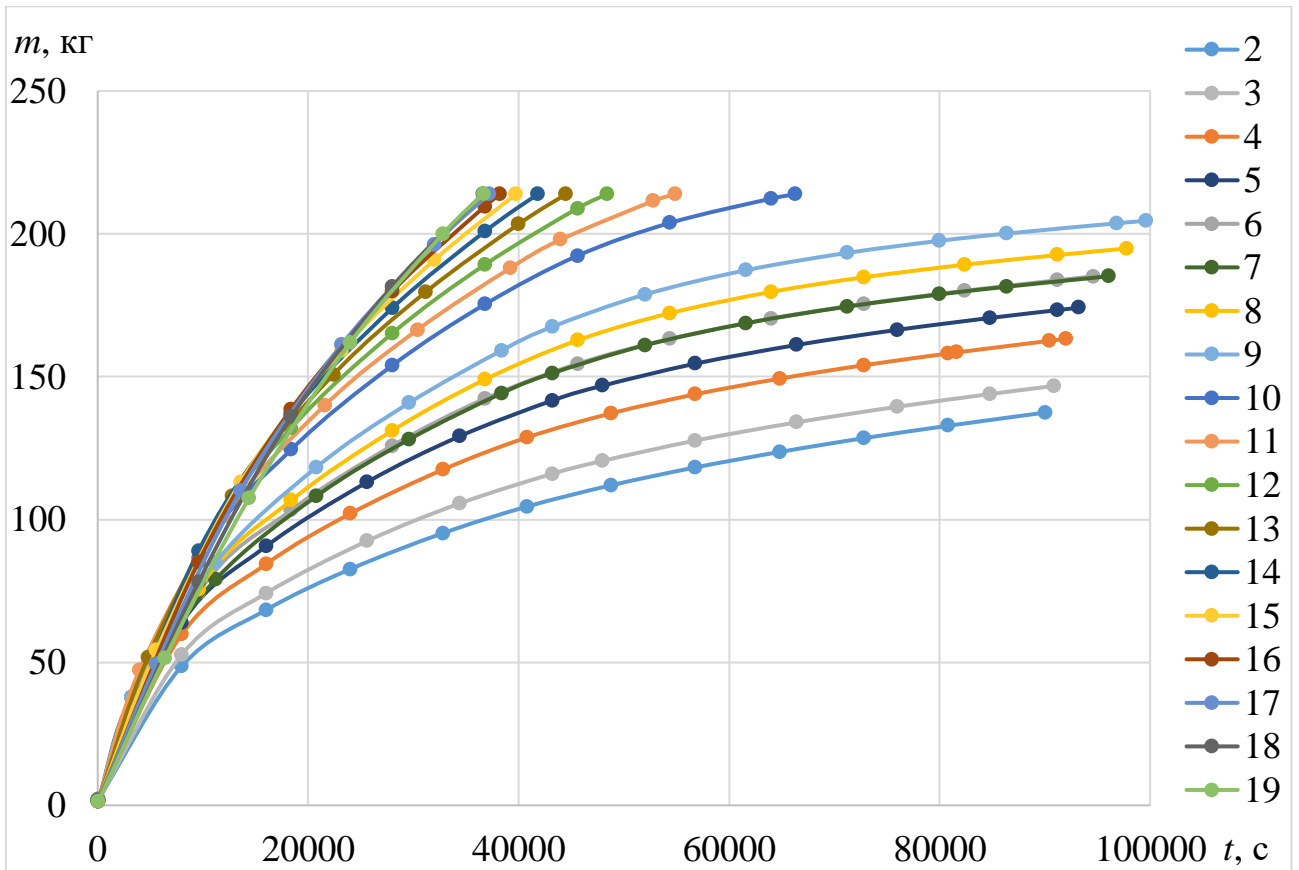


Рисунок 3.5 – Зависимость массы десублимированного UF_6 от времени десублимации для разного количества горизонтальных ребер

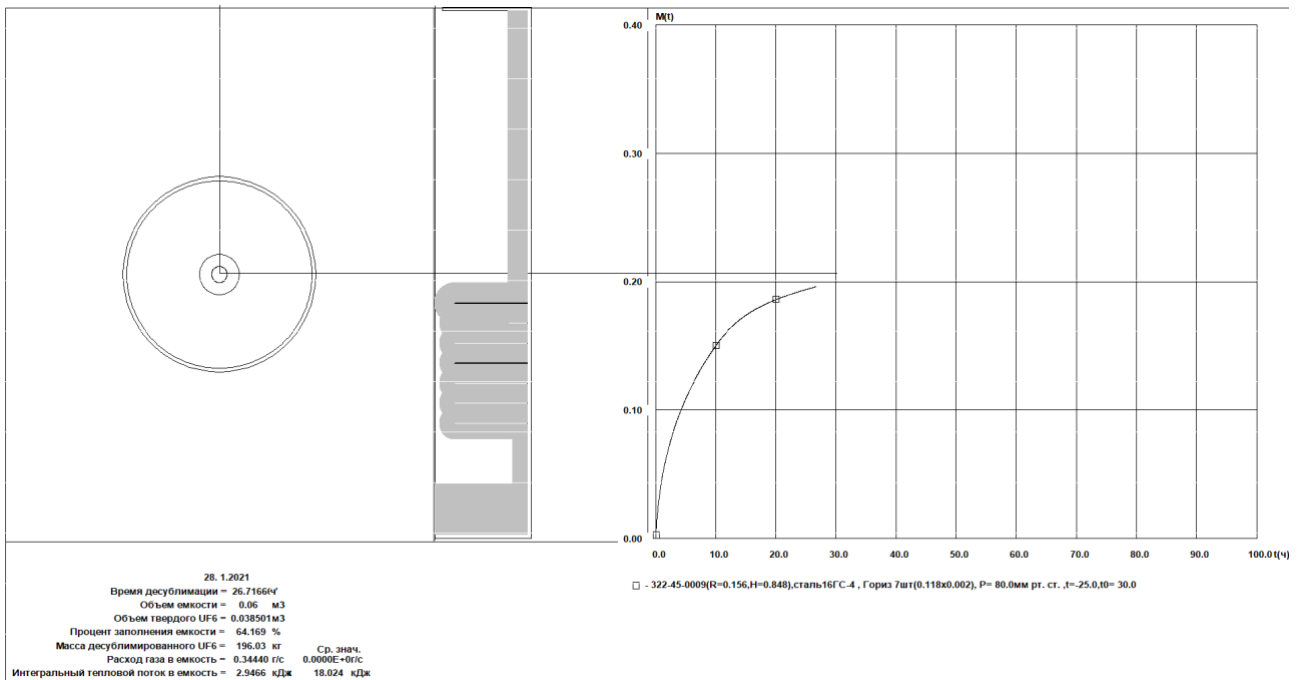


Рисунок 3.6 – Перемерзание центрального отверстия на верхнем ребре при количестве горизонтальных ребер 7 шт.

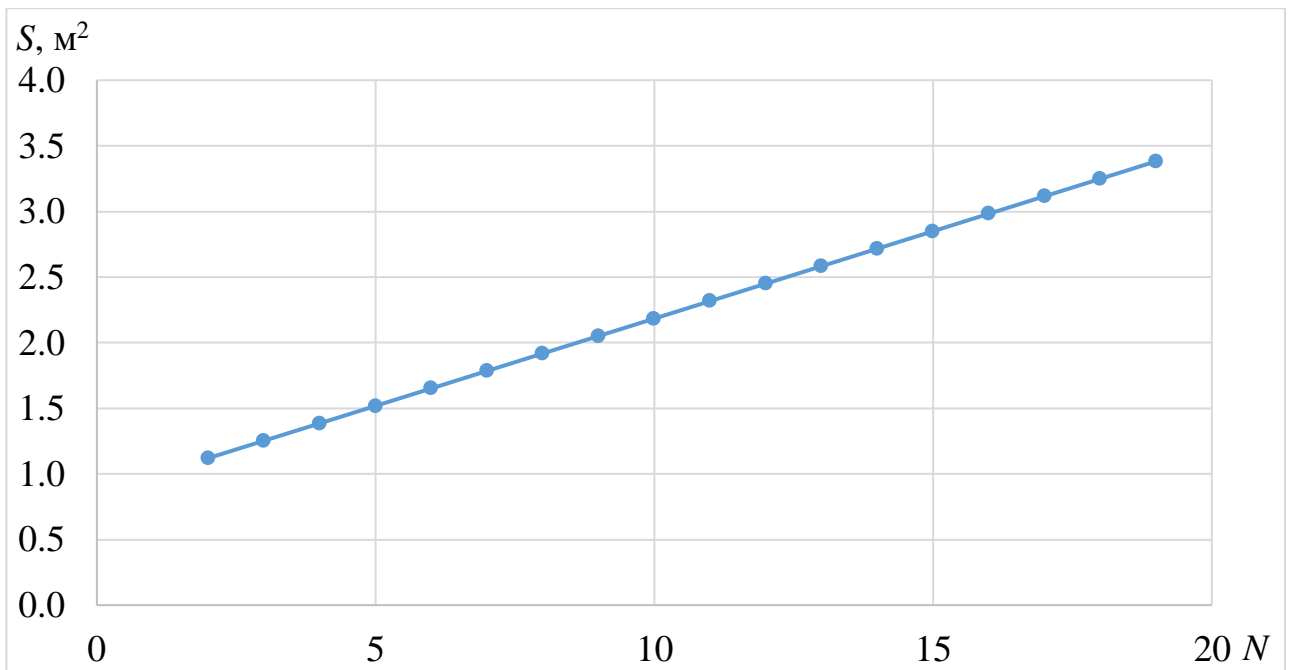


Рисунок 3.7 – Зависимость площади теплообменной поверхности ребер от количества горизонтальных ребер

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, области производства, которые нуждаются в емкостях десублимации повышенной производительности.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данной емкости. Результаты сегментирования представлены на рисунке 4.1.

		Вертикальная погружная емкость повышенной производительности		
		Разделительные предприятия	Научная отрасль	Иные предприятия атомной промышленности
Потребность	Сильная			
	Средняя			
	Слабая			

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка по потребности в емкостях десублимации повышенной производительности

4.1.2 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 [50].

SWOT – анализ состоит из трех этапов. В первом этапе мы анализируем сильные и слабые стороны исследовательской работы (внутренняя среда), а также возможности и угрозы (внешняя среда). Описание выполняется с помощью факторов, не имеющих количественной оценки (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Технология применима не для всех предприятий.
С2. Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.	Сл2. Отсутствие собственной сырьевой базы (гексафторид урана).
С3. Процесс десублимации UF ₆ оптимизирован, уменьшение потери целевого продукта.	
С4. Отличная от конкурентов технология.	
Возможности	Угрозы
В1. Создание более оптимизированной технологии.	У1. Создание схожей технологии для горизонтальных емкостей.
В2. Появление дополнительного спроса на технологию.	У2. Отсутствие спроса на новые технологии.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа построили интерактивную матрицу проекта (таблица 4.2). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.2 – интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта.		C1.	C2.	C3.	C4.
	B1.	+	+	+	0
	B2.	+	+	+	0
Угрозы проекта.	У1.	0	0	+	-
	У2.	+	0	+	0
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта.		Сл1.		Сл2.	
	B1	+		+	
	B2.	+		+	
Угрозы проекта.	У1.	-		-	
	У2.	-		-	

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT – анализа (таблица 4.3). Она заполняется, исходя из анализа таблицы 4.2.

Таблица 4.3 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>C1. Экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>C2. Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.</p> <p>C3. Процесс десублимации UF6 оптимизирован, уменьшение потери целевого продукта.</p> <p>C4. Отличная от конкурентов технология.</p>	<p>Сл1. Технология применима не для всех предприятий.</p> <p>Сл2. Отсутствие собственной сырьевой базы (гексафторид урана).</p>

Продолжение таблицы 4.4

<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание более оптимизированной технологии.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на технологию.</p>	<p>В1С1С2С3С4, В2С1С2С3С4. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность создания более оптимизированной технологии и появление дополнительного спроса на технологию.</p>	<p>В1Сл1Сл2, В2Сл1Сл2. Анализ показывает, что такие возможности как В1 и В2 могут вызвать высокий спрос на новую технологию у разделительных предприятий, что перекрывает слабые стороны Сл1 и Сл2.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Создание схожей технологии для горизонтальных емкостей.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии.</p>	<p>У1С1С2С3С4, У2С1С2С3С4. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования</p>	<p>-</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и исполнитель.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Расчет параметров линейного графика требует определения продолжительности работ. При отсутствии нормативов времени на проведение отдельных видов работ используются вероятностные оценки. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень категорий, этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Исполнитель
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы	исполнитель
	3	Изучение литературы и выбор методов решения	исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Календарное планирование работ по теме	исполнитель
	5	Экспериментальные исследования	руководитель, исполнитель
	6	Анализ и обработка полученных результатов	руководитель, исполнитель
	7	Расчет экспериментальных данных	исполнитель
	8	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, исполнитель
Обобщение и оценка результатов	9	Экономика, охрана труда и техника безопасности	исполнитель
	10	Подготовка к защите темы	исполнитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Необходимо спланировать работу каждого участника эксперимента и сроки их проведения. Для оптимизации работ удобнее всего использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Для этого составляют перечень работ в той последовательности, в которой они приведены в соответствующей таблице. Расчет параметров линейного графика требует определение продолжительности работ.

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

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

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

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

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

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

$$T_{pi}=t_{ожi}/C_i, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.–дн.; C_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка календарного плана работ

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 4

месяца, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$U_i = T_{pi} / T_p \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где U_i – удельное значение каждой работы, %; T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; T_p – суммарная продолжительность темы, раб. дн.

Техническую готовность темы G_i , можно рассчитать по формуле:

$$G_i = \sum T_{pi} / T_p \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы.

Для удобства построения календарного план–графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по формуле:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (4.5)$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения 1 работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность одной работы в рабочих днях; k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = T_{кз} / (T_{кз} - T_{вд} - T_{нд}), \quad (4.6)$$

где $T_{кз}$ – количество календарных дней в году; $T_{вд}$ – количество выходных дней в году; $T_{нд}$ – количество праздничных дней в году.

$$k = 365 / (365 - 66) = 1,22. \quad (4.7)$$

Расчетная величина продолжительности работ T_k округляется до целых чисел. Расчетные данные сводятся в таблице 4.2, на основании которой строится календарный план–график.

На примере составления и утверждения технического задания рассмотрим методику расчета временных показателей:

$t_{\min 1} = 2$ чел.-дня, $t_{\max 1} = 3$ чел.-дня; $t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot t_{\min 1} + 2 \cdot t_{\max 1}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4$ чел.-дня; T_{p1} рабочих дней; $K_{\text{кал}} = \frac{365}{365-66} = 1,22$; $T_{k1} = 2,4 \cdot 1,22 = 2,93$ календарных дня.

Аналогичным образом проводим расчеты для других этапов научного исследования и сводим результаты в табл. 4.2.

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [51].


График строится на основе данных из таблицы 4.5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. Работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта приведен на таблице 4.6.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения НИР

Этап	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	Исполнители	T_p , раб. дн.	T_k , кал. Дн.
1	2	3	2,4	руководитель	3	3
2	6	9	7,2	исполнитель	8	9
3	7	10	8,2	исполнитель	9	10
4	3	5	3,8	исполнитель	4	5
5	12	15	13,2	руководитель, исполнитель	7	9
6	14	18	15,6	руководитель, исполнитель	8	10
7	6	9	7,2	исполнитель	8	9
8	7	10	8,2	руководитель, исполнитель	5	5
9	11	14	12,2	исполнитель	13	15
10	8	11	9,2	исполнитель	10	12
Итого			87,2		75	89

Таблица 4.6 – Календарный план–график (диаграмма Ганта) проведения ВКР

Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительности выполнения работ, неделя											
			Февраль			март			апрель					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1. Составление и утверждение ТЗ	Н.р.	2,93												
2. Изучение проблемы, обзор литературы	И.	8,78												
3. Изучение литературы, выбор методов решения проблем	И.	10,00												
4. Календарное планирование работ по теме	И.	4,64												
5. Экспериментальные исследования	Н.р. + И.	8,05												
6. Анализ и обработка полученных данных	Н.р. + И.	9,52												
7. Расчет экспериментальных данных	И.	8,78												
8. Оценка эффективности полученных результатов	Н.р. + И.	5,00												
9. Экономика, охрана труда и техника безопасности	И.	14,88												
10. Социальная ответственность	И.	11,22												

Научный руководитель – 

Исполнитель – 

4.3 Определение бюджета НИР

4.3.1 Расчет материальных затрат

Этот пункт включает в себя стоимость всех материалов, необходимых для выполнения НИР.

К категории материалов относят:

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

Эксперименты проводились 9 дней по 2 часа (18 часов), мощность установки 0,8 кВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (4.8)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,56 руб. за 1 кВт•ч [52]);
 P – мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 2,56 \cdot 0,8 \cdot 18 = 36,86 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_m = C_{эл}, \quad (4.9)$$

$$C_m = 36,86 \text{ руб.}$$

4.3.2 Затраты на оплату труда работников

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

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.10)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_m \cdot T_{раб}, \quad (4.11)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно–техническим работником, раб.дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_m \cdot M / F_{д}, \quad (4.12)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада исполнителя выступает стипендия, которая составляет 2048 руб. [53]); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб. дн. $M=10,4$ месяца, 6-ти дневная неделя); $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала (в рабочих днях).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.7.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot k_p = 50625 \cdot 1,3 = 65812,5 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата по квалификационной группе, руб. (для профессора $Z_{мс}$ составляет 50625 руб.); k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

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

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп}=0,1$); $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Дни
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66

Продолжение таблицы 4.7

Потери рабочего времени	
–отпуск	56
–невыходы по болезни	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	271

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	<i>Змс</i> , руб.	<i>Кр</i>	<i>Зм</i> , руб.	<i>Здн</i> , руб.	<i>Траб</i> раб. дн.	<i>Зосн</i> , руб.
Руководитель	50625	1,3	65812,5	3290,6	32	105299,2
Исполнитель	12792	1,3	16630	831,5	100	83150

В таблице 4.9 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.9 –Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	105299,2	83150
Дополнительная зарплата, руб.	10529,92	8315
Зарплата исполнителя, руб.	105299,2	83150
Итого по статье <i>С_{зн}</i> , руб.	188449,2	

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Дипломная работа выполнялась с февраля 2021 года по май 2021 года. Для образовательных учреждений размер страховых взносов по договору

гражданско-правового характера водится по пониженной ставке – 27,1% [54]. Таким образом выплаты в страховые фонды составят:

$$C_{стр} = K_{стр} \cdot (З_{осн} + З_{дон}) \quad (4.15)$$

где $K_{стр}$ – коэффициент отчислений.

$$C_{стр} = 0,271 \cdot (105299,2 + 10529,92) = 31389,69 \text{ руб.}$$

4.3.4 Прочие прямые расходы

В прочие расходы могут быть включены: затраты на приобретение научно–технической литературы; аренду спецоборудования, командировки, почтовые и телеграфные расходы.

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

$$C_{пр} = K_{накл} \cdot (C_m + C_{зн} + C_{стр}) \quad (4.16)$$

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

$$C_{пр} = 0,05 \cdot (36,86 + 105299,2 + 31389,69) = 6836,29$$

4.3.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИР. По этой статье учитываются оплата труда административно–управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного инвентаря, расходы по охране труда и подготовке кадров, расходы на пользование Интернетом.

Накладные расходы в ТПУ составляют 16% от суммы всех затрат. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = K_{накл} \cdot (C_m + C_{пр} + C_{стр} + C_{зн}) \quad (4.17)$$

где $K_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{накл} = 0,16 \cdot (36,86 + 105299,2 + 31389,69 + 6836,29) = 22969,92$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИР, приведенная в таблице 4.10. Персональный компьютер является собственностью инженерной школы ядерных технологий, поэтому в расчете не учитывается.

Таблица 4.10 – Бюджет затрат

Наименование статей затрат	Сумма, руб.	
	Руководитель	Исполнитель
1. Материалы, руб.	36,86	
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИР, руб.	105299,2	83150
3. Отчисления во внебюджетные фонды, руб.	31389,69	24787,02
4. Прочие прямые расходы, руб.	6836,29	5398,69
5. Накладные расходы, руб.	22969,92	3128,22
Общие затраты исполнителя	166531,96	18139,61
Итого себестоимость НИР, $C_{\text{нир}}$, руб.	184671,57	

Проделав расчеты, получил себестоимость НИР 184671,57 руб., время, необходимое для его выполнения 104 календарных дня.

4.4 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта

4.4.1 Определение ресурсной и финансовой эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с

определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Предложенный проект обозначим как первый вариант, второй вариант – существующая методика определения влияния диаметра входного клапана, горизонтального оребрения и объема емкости на скорость ее заполнения UF₆.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [55]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.18)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{184671,57}{184671,57} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{18716,27}{184671,57} = 0,10$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.19)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Точность вычислений	0,3	5	4
2. Скорость произведения расчетов	0,25	4	4
3. Удобство в эксплуатации	0,2	5	5
4. Стоимость	0,25	4	5
Итого	1	4,7	4,5

$$I_{p1}=0,3\cdot5+0,25\cdot4+0,2\cdot5+0,25\cdot4=4,50$$

$$I_{p2}=0,3\cdot4+0,25\cdot4+0,2\cdot5+0,25\cdot5=4,45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (4.20)$$

$$I_{\text{исп.}1} = \frac{4,50}{1} = 4,5$$

$$I_{\text{исп.}2} = \frac{4,45}{0,10} = 45,5$$

С целью определения наиболее целесообразного варианта из предложенных сравним интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки и определим сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} = \frac{4,5}{45,5} = 0,09 \quad (4.21)$$

Таблица 4.12 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатель	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,1

Продолжение таблицы 4.12

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	45,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,09

В ходе выполнения данной дипломной работы был составлен календарный план по НИР, рассчитана смета затрат на НИР, общая сумма затрат на НИР равна 184671,57, время, необходимое для его выполнения 89 календарных дня. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. Полученные данные приведены в таблице 4.12. Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация НИР в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости повсеместно внедряется комплексная система управления охраной труда. Совместно с внедрением системы охраны труда должно проводиться непрерывное повышение качества и эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от вредных и опасных факторов, с которыми сталкивается рабочий персонал в течение профессиональной деятельности.

Охрана труда – система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого может привести к травме или другому резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающего может привести к заболеванию или снижению трудоспособности [56].

Сложность обеспечения охраны труда сводится к использованию достижений многих областей человеческой деятельности, связанных с созданием безопасности труда. Так, при разработке требований производственной санитарии используются результаты ряда медико-биологических исследований.

Успешное решение задач по обеспечению безопасности труда во многом зависит от квалификации специалистов в этой области, от их умения оперативно принимать правильные решения в сложных условиях производства.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях профилактики несчастных случаев и являются обязательными для исполнения рабочими, инженерно-техническим и руководящим составом.

5.1 Характеристика вредных и опасных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 5.1.

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

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ [57]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность
	Ионизирующее излучение (ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

На работника лаборатории воздействуют следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;

– психофизиологические.

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

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

5.2.1 Организационные мероприятия

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

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

5.2.2 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 рисунок 5.2.

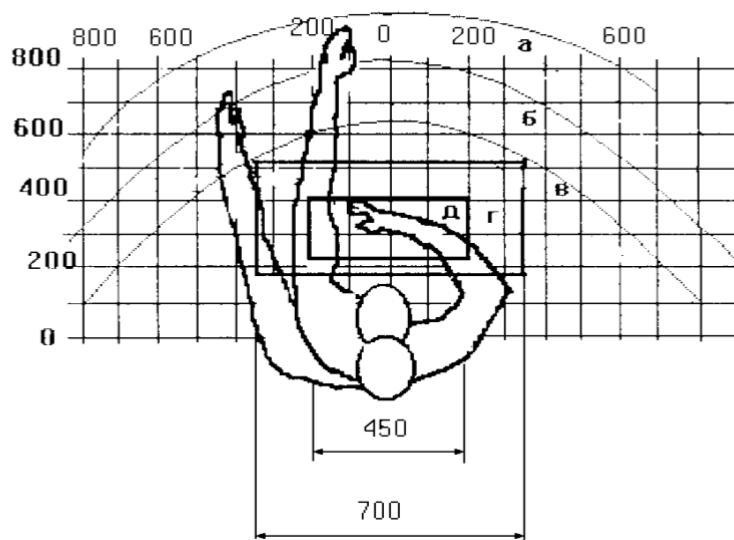


Рисунок 5.2 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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 размещается 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 680–800 мм. 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 также 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.

5.3 Условия безопасной работы с ПЭВМ

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [58] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

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. Согласно [58] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

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 ПЭВМ, 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 [58] 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.

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ 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 землей металлическим элементам и

металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ПЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ);
- 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 надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклочение в корпуса электропоражающих элементов, заклочение в корпус токоведущих частей) [59].

5.5 Пожарная безопасность

Согласно [60], 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 подразделяются 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 (рисунок 5.3.);
- 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.

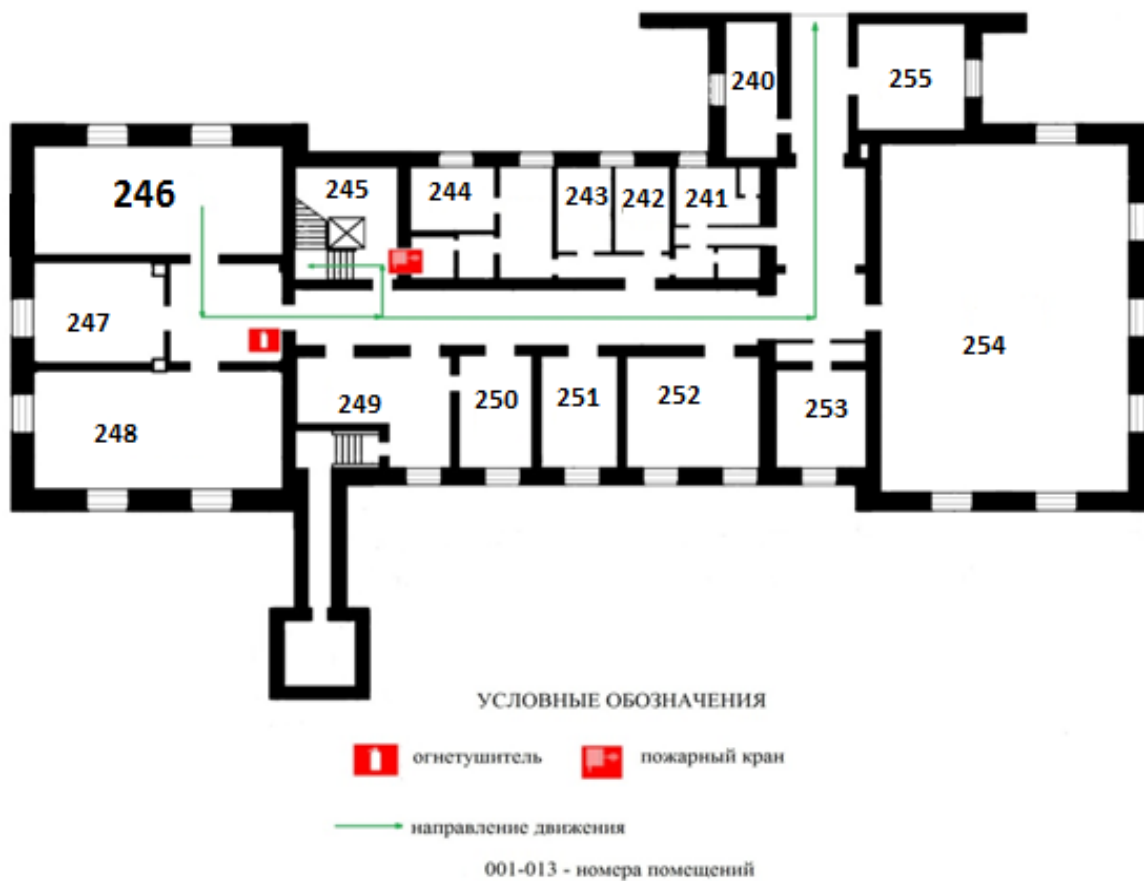


Рисунок – 5.3 План эвакуации при пожаре и других ЧС

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ВЫВОДЫ

С использованием двухмерной математической модели нестационарного процесса десублимации UF_6 в вертикальные погружные емкости проведены расчеты динамики заполнения емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ с горизонтальным оребрением десублимированным UF_6 , сделана оценка влияния толщины горизонтальных ребер (δ , м), расстояния между ними, количества ребер на среднюю производительность данной емкости.

1. Показано, что при уменьшении толщины горизонтального ребра с $7,0 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м средняя производительность емкости увеличивается с $4,505 \cdot 10^{-3}$ до $4,866 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 8%), то есть чуть больше 1% на $1,0 \cdot 10^{-3}$ м толщины ребра. Не рекомендовано уменьшать толщину ребер, поскольку это не приводит к существенному изменению средней производительности емкости и может привести к деформации ребер под действием массы нарастающего на них десублимата и нарушению тем самым нормального режима их работы.

2. Установлено, что средняя производительность емкости не зависит от расстояния между горизонтальными ребрами в интервале от $0,5 \cdot 10^{-2}$ до $5,0 \cdot 10^{-2}$ м и составляет $4,806 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

3. Показано, что при увеличении числа ребер с 2 до 9 шт. степень заполнения емкости не достигает заданного значения (70%) из-за «перемерзания» центрального отверстия верхнего ребра. Увеличение количества ребер с 10 до 19 шт. приводит к увеличению средней производительности емкости с $3,228 \cdot 10^{-3}$ кг/с до $5,885 \cdot 10^{-3}$ кг/с (на 80%) за счет увеличения теплообменной поверхности ребер на 55% и уменьшению времени ее заполнения до заданной степени в 1,8 раз.

4. Определено, что увеличение количества ребер с 13 шт. в стандартной емкости до 19 шт. приводит к увеличению ее средней производительности на 21,4%, что можно использовать при оптимизации конструкции данной емкости.

Полученные в ходе численного моделирования результаты могут быть использованы в АО «ПО ЭХЗ» при оптимизации конструкции емкости объемом $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платэ Н.А. Основы химии и технологии мономеров. Учебное пособие / Н.А. Платэ, Е.В. Сливинский. – М.: Наука: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2002. – 696 с.
2. Ажажа В.М. Совершенствование процесса и оборудования сублимации тетрафторида циркония и гафния / В.М. Ажажа, Ю.П. Бобров, П.Н. Вьюгов и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2006. – № 4. – С. 138-143.
3. Ожерельев О.А. Применение EXAFS-спектроскопии для исследования высокотемпературной сорбции фторидов на поверхности циркония / О.А. Ожерельев, А.С. Федин, Н.К. Мереуца // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 2. – С. 79–84.
4. Андреев А.А. Аспекты технологии получения диоксида титана переработкой ильменита фторидами аммония / А.А. Андреев, А.Н. Дьяченко // VIII Всероссийская конференция «Химия фтора»: тезис докладов. – М.: Интерконтакт Наука, 2009. – С. 114.
5. Истомин И.А. Сублимационная очистка препарата молибдена-99 методом лазерного сканирования / И.А. Истомина, А.А. Мальцев, Ю.А. Занора // XIII научно-практическая конференция «Дни науки - 2013»: тезис докладов. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2013. – Т. 2. – С. 19-21.
6. Хасанов Р.Н. Разработка и проверка технологического процесса сублимационной очистки молибдена-99 / Р.Н. Хасанов, Ю.А. Ворошилов // XIII научно-практическая конференция «Дни науки - 2013»: тезис докладов. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2013. – Т. 2. – С. 42-44.
7. Пищулин В.П. Установка сублимационной очистки триоксида молибдена / В.П. Пищулин, Ф.В. Макаров, В.А. Тяхонов // Технология и автоматизация атомной энергетики и промышленности: Материалы Отраслевой научно-технической конференции, посвященной 70-летию НИЯУ МИФИ: тезис докладов. – Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – С. 140.

8. Макаров Ф.В. Исследование очистки триоксида молибдена от оксидов урана методом сублимации при пониженном давлении / Ф.В. Макаров // Цветные металлы. – 2010. – № 3. – С. 83-86.
9. Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: учебник для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 680 с.
10. Скрипников Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Ю.В. Радионов [и др.] // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – № 3 – с. 371-376.
11. Булкин М.С. Сублимационная сушка сырья биологического происхождения с учетом флуктуаций в промышленных технологиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Булкин Максим Сергеевич; Московский Государственный Университет Прикладной Биотехнологии. – Москва, 2010. – 24 с.
12. Вильнина А.В. Экспериментальное исследование процесса десублимации от длительности цикла захолаживания / А.В. Вильнина, В.Ф. Дядик, С.А. Байдали и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. - № 2. – С. 91-93.
13. Орлов А.А. Анализ способов получения гексафторида урана, очистки его от примесей и заполнения в транспортные емкости / А.А. Орлов, Р.В. Малюгин // Инженерно-технические науки. – 2014. № 3 (39). – С. 89-98.
14. Орлов А.А. Естественная конвекция газообразного UF₆ в вертикальной цилиндрической емкости / А.А. Орлов, А.Ф. Цимбалюк, Р.В. Малюгин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. № 12-2. С. 79-84.
15. Орлов А.А. Математическое моделирование процесса десублимации UF₆ в емкости с горизонтальным оребрением / А.А. Орлов, А.Ф. Цимбалюк, Р.В. Малюгин // Теоретические основы химической технологии. – 2020. № 2. С. 220-227.

16. Волоснев А.В. Промышленный опыт ректификации 70%-ной фтороводородной кислоты / А.В. Волоснев, О.Б. Громов, В.А. Середенко [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2016. № 10. С. 4-10.
17. Shatalov V.V. Depleted uranium hexafluoride – the fluorine source for production of the inorganic and organic compounds / V.V. Shatalov, V.A. Seredenko, O.B. Gromov et al. // J. Fluor. Chem., v.130, № 1, 2009, pp. 122-126.
18. Орлов А.А. Оборудование для десублимации UF_6 на предприятиях по обогащению изотопов урана: учебное пособие по дисциплине «Оборудование предприятий ядерного топливного цикла» для магистрантов 1 курса, обучающихся по профилю «Изотопные технологии и материалы» направления 14.04.02 – Ядерная физика и технологии / А.А. Орлов, Р.В. Малюгин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2019. – 100 с.
19. Кац Дж. Химия урана. Том 1 / Дж. Кац, Е. Рабинович. – Москва: Иностранная литература. – 1954. – 328 с.
20. Обогащения урана / под ред. С. Виллани. пер. с англ. под ред. И.К. Кикоина. – Москва: Энергоатомиздат. – 1983. – 320 с.
21. Каляцкая Г.В. Химия и аналитическая химия урана и тория: учебное пособие / Г.В. Каляцкая, А.Н. Страшко. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2011 – 80 с.
22. Маслов А.А. Технология урана и плутония: учебное пособие / А.А. Маслов, Г.В. Каляцкая, Г. Н. Амелина [и др.] – 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 144 с.
23. Галкин Н.П. Химия и технология фтористых соединений урана / Н.П. Галкин, А.А. Майоров, У.Д. Верятин. – Москва: Атомиздат. – 1961. – 344 с.
24. Рысс И.Г. Химия фтора и его неорганических соединений / И.Г. Рысс. – Москва: Госхимиздат. – 1988. – 718 с.

25. Саймонс Дж. Фтор и его соединения. Том 1 / Дж. Саймонс. – Москва: Изд-во иностранной литературы. – 1953. – 493 с.
26. Shrewsberry R. Chemistry of the chlorine trifluoride-uranyl fluoride reaction / R. Shrewsberry, L. Williamson // Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry. – 1966. – V. 28. – P. 2535-2539.
27. Академик: сайт. – URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1770961> (дата обращения: 20.01.2021). – Текст: электронный.
28. Chem.ru: сайт. – URL: <https://chem.ru/ftorid-volframa-vi.html> (дата обращения: 18.11.2021). – Текст: электронный.
29. Ермолаева В.А. Технологические параметры производства карбамида / В.А. Ермолаева, Д.С. Синявская // Наука без границ. – 2018, № 5 (22). – С. 85-89.
30. Дубровский А.В. Термическое уравнение состояния аммиака / А.В. Дубровский, В.В. Козында, С.М. Фролов // Горение и взрыв. – 2012. – Вып. 5. – С. 120-124.
31. Дубровский А.В. Аппроксимация термодинамических свойств аммиака / А.В. Дубровский, Н.М. Кузнецов, С.М. Фролов // Горение и взрыв. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 198-214.
32. Овчаренко Э.В. Химия. Биология: сборник студенческих работ / отв. ред. Э.В. Овчаренко. – Москва: Студенческая наука, 2012. – 1357 с.
33. Wiki.cologne Википедия: сайт. – URL: https://wiki.cologne/Диоксид_углерода (дата обращения: 27.12.20). – Текст: электронный.
34. Span R. A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from triple point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa / R. Span, W. Wagner // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1996. – Vol. 25, №. 6. – P. 1509-1596.
35. Волоснев А.В., Громов О.Б., Фролкина В.В., Резникова Т.Е. // Сб. «Материалы Всероссийской НПК, приуроченной к 105 летию со дня

- рождения Б.В. Громова. Томск, 1-3 октября 2014 г.» Под ред. О.Б. Громова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. с. 36.
36. Shatalov V.V. Depleted uranium hexafluoride – the fluorine source for production of the inorganic and organic compounds. / V.V. Shatalov, V.A. Seredenko, O.B. Gromov [et al.] // J. Fluor. Chem., v.130, № 1, 2009, pp. 122-126.
37. ГОСТ 14022-88. Водород фтористый безводный. Технические условия: дата введения 1990-01-01. – URL: <http://www.techhap.ru/gost/302747.html> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.
38. Андриец С.П., Смагин А.А., Гущин А.А. и др. // Сб. «Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Фторидные технологии», г. Томск, 25-26 июня 2009 г.» – Томск: ТПУ, 2009, с. 13.
39. Патент РФ № 2447013 Российская Федерация, МПК C01B 7/19. Способ получения безводного фтороводорода и плавиковой кислоты: № 2010115555: заявл. 19.04.2010: опубл. 10.04.2012 / Волоснев А.В., Громов О.Б., Медведев М.В. [и др.], заявитель Открытое акционерное общество "Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии", Открытое акционерное общество "Производственное объединение "Электрохимический завод".
40. Волоснев А.В. Оптимальный конструкционный материал реактора для фторирования оксидов урана газообразным фторидом водорода / А.В. Волоснев, О.Б. Громов, В.А. Середенко [и др.] // Атомная энергия, т. 114, № 5. – 2013, сс. 285-288.
41. ГОСТ 10484-78. Кислота фтористоводородная. Технические условия: дата введения 1980-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017426> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.
42. Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана / Б.В. Громов. – М.: Атомиздат, 1978. – сс. 32, 33.
43. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры: дата введения 1980-01-

01. – URL: <http://www.techhap.ru/gost/290130> (дата обращения: 24.04.2020).
– Текст: электронный.
44. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973.
45. ГОСТ 1577-93. Прокат толстолистовой и широкополосный из конструкционной качественной стали. Технические условия: дата введения 1997-01-01. – URL: <http://www.techhap.ru/gost/305120> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.
46. Wilke C. R. Diffusional properties of multicomponent gases // Chem. Eng. Progress. – 1950. – Т. 46. – С. 95-104
47. Llewellyn, D. R. Some physical properties of uranium hexafluoride // J. Chem. Soc. –1953. – P. 28-36.
48. Лапин, Ю. В. Внутренние течения газовых смесей / Ю.В. Лапин, М.Х. Стрелец. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
49. Волков, Е. А. Численные методы. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
50. Executive: сайт. – URL: <https://www.e-executive.ru/wiki/index.php/SWOT-анализ> (дата обращения: 20.01.2021). – Текст: электронный.
51. Управление проектами: сайт – URL: <https://upravlenie-proektami.ru/vse-pro-diagrammu-ganta> (дата обращения: 11.01.2021). – Текст: электронный.
52. ЭнергоВОПРОС.ру: сайт – URL: https://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnabzhenie/tarify-na-elektroenergiju/tomskaya_oblast/39310/ (дата обращения: 15.01.21). – Текст: электронный.
53. TPU.ru: сайт – URL: <https://tpu.ru/tpu-life/support/scholarship> (дата обращения: 20.01.21). – Текст: электронный.
54. ФЕДЕРАЛЬНАЯ НАЛОГОВАЯ СЛУЖБА: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www.nalog.ru/rn77/taxation/insprem/> (дата обращения: 20.01.21). – Текст: электронный.
55. Lektsii.org: сайт – URL: <https://lektsii.org/7-7417.html> (дата обращения: 15.05.21). – Текст: электронный.

56. Российская Федерация. Законы. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон №181 – ФЗ: [принят Государственной думой 17 июля 1999 года]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559 (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.
57. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Система стандартов безопасности труда: дата введения 1976-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200224> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.
58. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
59. ГОСТ 12.1.019-2009. Электробезопасность. Система стандартов безопасности труда: дата введения 2011-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080203> (дата обращения: 24.05.2020). – Текст: электронный.
60. ГОСТ Р12.1.004-85. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. Система стандартов безопасности труда: дата введения 1985-03-28. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116752> (дата обращения: 24.04.2020). – Текст: электронный.