

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

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема диплома
Проект цеха экстракционного разделения тантала и ниобия производительностью 40000 т/год по исходному водному раствору
УДК <u>661.88.061.001.6</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Букоткин Станислав Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Малютин Л.Н.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Д.В.			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭАФУ	Вильнина А.В.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Петлин И.В.	к.т.н.		
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ХТРЭ	Крайденко Р.И.	д.х.н., доцент		

Томск – 2017 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02
«Химическая технология материалов современной энергетики»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
Р2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
Р3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
Р4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
Р5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижения науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
Р8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
Р9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
Р10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
Р11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0421	Букоткину Станиславу Владимировичу

Тема работы:

Проект цеха экстракционного разделения тантала и ниобия производительностью 40000 т/год по исходному водному раствору	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.12.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект проектирования: цех экстракционного разделения тантала и ниобия. Производительность: 40000 т/год. Режим работы: непрерывный. Вид сырья: Водный танталсодержащий раствор ($C_{\text{Ta}} = 270,0$ г/л), трибутилфосфат, РЭД-3М. Температура процесса – 20 °С.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение 2. Обзор литературы 3. Расчеты и аналитика 3.1. Теория процесса (термодинамика, кинетика) 3.3. Разработка аппаратурно-технологической схемы. 3.4. Расчет материального баланса технологической схемы 3.5. Расчет теплового баланса технологической схемы 3.6. Расчет основного аппарата.

	3.6.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 3.6.2. Механический расчет основного аппарата 3.6.3. Гидравлический расчет основного аппарата 3.6.4. Энергетический расчет основного аппарата 4. Результаты расчетов 5. План размещения оборудования 5.1. Подбор основного технологического оборудования 5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования 5.3. Энергетический расчет технологической схемы 5.4. План размещения оборудования 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Автоматизация процесса 9. Заключение 10. Список использованных источников
--	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93...2.034-83). 2. Аппаратурно-технологическая схема 3. План размещения оборудования Презентация Power Point Presentation
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна, доцент кафедры менеджмента, к.ф.н.
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич, ассистент кафедры ХТРЭ
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна, доцент кафедры ЭАФУ, к.т.н.
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович, старший преподаватель кафедры ХТРЭ, к.т.н.

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.10.2017
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Малютин Лев Николаевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0421	Букоткин Станислав Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 107 страниц, 16 рисунков, 26 таблиц, 49 источников литературы, 7 приложений.

Ключевые слова: экстракционное разделение тантала и ниобия, экстракция тантала трибутилфосфатом, центробежный экстрактор, фтортанталовая кислота, оксофторниобиевая кислота.

Целью дипломного проекта является разработка и проектирование цеха экстракционного разделения тантала и ниобия производительностью 40000 т/год.

Объектом проектирования является технологическая цепочка разделения двух и более элементов (разделение тантала и ниобия).

Предметом проектирования является цех экстракционного разделения тантала и ниобия с помощью трибутилфосфата.

Научная новизна проектируемой технологии заключается в способе разделения тантала и ниобия, находящихся в разбавленных растворах HF, что способствует селективной экстракции фтортанталовых комплексов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
4. ПУЭ-7. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
5. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
6. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
7. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
8. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).
9. ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Изменением N 1).
10. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
11. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.

12. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

13. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

14. ГОСТ 12.4.009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением N 1).

15. ГОСТ 12.4.121-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Противогазы фильтрующие. Общие технические условия.

16. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1).

17. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

18. ГОСТ Р 22.3.01. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Жизнеобеспечение населения в чрезвычайных ситуациях. Общие требования.

19. ГОСТ Р 22.3.03. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.

20. ГОСТ Р 22.8.01. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования (с Изменением N 1).

21. ГОСТ Р 22.8.05-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах. Общие требования.

22. ГОСТ Р 22.9.02. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Режимы деятельности спасателей, использующих средства индивидуальной

защиты при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах. Общие требования.

23. ГОСТ Р 22.9.05. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования.

24. АТК 24.200.03-90. Опоры-стойки вертикальных аппаратов. Типы, конструкция и размеры.

25. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры (с Изменениями N 1, 2).

26. ГОСТ 17269-71. Респираторы фильтрующие газопылезащитные РУ-60м и РУ-60му. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).

27. ГОСТ 18979-90. Колонны железобетонные для многоэтажных зданий. Технические условия.

28. ГОСТ 20680-75. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Экстракция – способ извлечения вещества из раствора или сухой смеси с помощью подходящего растворителя.

Жидкостная экстракция – процесс переноса растворенного вещества из водной фазы в несмешивающуюся с ней органическую фазу.

Экстрагент – органическое вещество, образующее с извлекаемым металлом комплекс или соль, способные растворяться в органической фазе.

Разбавитель – жидкое органическое вещество, не смешивающееся с водой, служащее растворителем экстрагента.

Экстракт – органическая фаза после экстракции, насыщенная извлекаемым компонентом.

Рафинат – водная фаза после экстракции, очищенная от извлекаемого компонента.

Реэкстракция – процесс обратного извлечения вещества из экстракта путем обработки специальным раствором.

Реэкстракт – водная фаза, полученная после реэкстракции.

Экстрактор – аппарат для проведения процесса экстракции.

Обозначения и сокращения

ТБФ – трибутилфосфат;

МИБК – метилизобутилкетон;

РЭД – разбавитель экстракционный деароматизированный;

ПДК – предельно-допустимая концентрация;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

Д – день;

С – смена;

ат. – атомные единицы.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	15
1.1 Общие сведения о тантале и ниобии.....	15
1.2 Нахождение тантала и ниобия в природе.....	16
1.3 Применение тантала и ниобия	17
1.4 Физические свойства ниобия и тантала.....	18
1.5 Химические свойства тантала и ниобия	19
1.5.1 Взаимодействие с газами.....	19
1.6 Способы разделения и очистки тантала и ниобия	22
1.6.1 Дробная кристаллизация комплексных фторидов.....	22
1.6.2 Жидкостная экстракция.....	23
1.6.3 Ионообменное разделение	28
1.6.4 Ректификационный метод разделения тантала и ниобия	29
1.6.5 Селективное восстановление хлоридов ниобия	30
1.6.6 Выбор технологии разделения тантала и ниобия	30
1.7 Аппаратурное оформление метода жидкостной экстракции	30
1.7.1 Распылительные колонны	31
1.7.2 Пульсационные колонны.....	32
1.7.3 Смесительно-отстойные экстракторы	33
1.7.4 Смесительно-отстойные экстракторы с центробежным разделением фаз.....	34
2 Расчеты и аналитика	35
2.1 Теория процесса экстракции.....	35
2.1.1 Термодинамика процесса экстракции.....	35

2.1.2 Кинетика процесса экстракции.....	36
2.2 Материальный расчет	38
2.3 Тепловой расчет	42
2.4 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.....	42
2.4.1 Описание аппаратурно-технологической схемы	44
3.5 Расчет основного аппарата.....	45
3.5.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата.....	45
3.5.2 Подбор днища и крышки аппарата	50
3.5.3 Гидравлический расчет.....	51
3.5.4 Энергетический расчет	54
3.5.5 Механический расчет	55
4 Результаты расчетов.....	60
5 План размещения оборудования	61
5.1 Подбор основного технологического оборудования.....	61
5.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования.....	61
5.3 Энергетический расчет технологической схемы.....	62
5.4 План размещения оборудования	62
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	63
6.1 Расчет капитальных затрат.....	63
6.2 Расчёт эффективного фонда времени	66
6.3 Расчет годового фонда заработной платы работников цеха.	68
6.4 Расчет технологических затрат.....	71
6.5 Расчет затрат на реагенты	72
6.6 Калькуляция себестоимости передела.....	73
6.7 SWOT-анализ.....	73

6.8 Вывод по разделу	73
7 Социальная ответственность	74
7.1 Описание технологического процесса.....	74
7.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	75
7.2.1 Вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.	75
7.2.2 Вредные производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека.	76
7.2.3 Вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде.	78
7.3 Анализ опасных факторов.....	79
7.3.1 Опасные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	79
7.3.2 Опасные производственные факторы, связанные с возникновением пожаров (взрывов) в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании промышленных объектов.	82
7.4 Охрана окружающей среды	83
7.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	83
7.5.1 Аварии с выбросом химически опасных веществ при их производстве, переработке или хранении.	84
7.6 Вывод по разделу	85
8 Автоматизация процесса	86

8.1 Введение.....	86
8.2 Описание схемы автоматизации.....	87
8.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации.....	89
8.4 Подбор контрольно-измерительных приборов.....	90
8.4.1 Подбор уровнемера.....	90
8.4.2 Подбор расходомера и плотномера.....	91
8.4.3 Подбор рН-метра.....	91
8.5 Вывод по разделу.....	92
Заключение.....	93
Список использованных источников.....	95
Приложение А.....	101
Приложение Б.....	102
Приложение В.....	103
Приложение Г.....	104
Приложение Д.....	105
Приложение Е.....	106
Приложение Ж.....	107

Введение

Тантал – редкоземельный элемент с атомным номером 73 в периодической таблице Менделеева. Тантал сопутствует ниобию в минералах эндогенного происхождения ввиду их близких физико-химических свойств и является рассеянным, будучи изоморфным с большим количеством других элементов.

Тантал является очень ценным металлом современной химической и ядерной промышленности. Он используется для производства жаропрочной и коррозионно-стойкой аппаратуры химической промышленности и посуды, в частности для переработки редких земель, иттрия и скандия. В ядерной промышленности тантал используется в производстве теплообменников ввиду его высокой стойкости в перегретых средах и парах цезия.

В настоящее время технология отделения тантала от сопутствующего ему ниобия мало изучена и подлежит исследованиям. Наиболее часто используется метод разделения, заключающийся в первичной совместной экстракции тантала и ниобия, при котором выделение тантала происходит на стадии реэкстракции.

Актуальность данного проекта заключается в разработке ресурсоэффективной технологии, которая позволяет отделять тантал от ниобия еще на стадии экстракции.

Объектом проектирования является технологическая цепочка разделения двух и более элементов (разделение тантала и ниобия).

Предметом проектирования является цех экстракционного разделения тантала и ниобия с помощью трибутилфосфата.

Научная новизна проектируемой технологии заключается в способе разделения тантала и ниобия, находящихся в разбавленных растворах HF, что способствует селективной экстракции фтортанталовых комплексов.

1 Обзор литературы

1.1 Общие сведения о тантале и ниобии

Тантал и ниобий – элементы второй подгруппы пятой группы периодической системы Д. И. Менделеева. В 1801 году английский химик Геттчет обнаружил неизвестный до того времени химический элемент в минерале, имевшим название колумбит, который он назвал колумбием. Примерно через год шведский химик Экеберг открыл новый элемент и назвал его танталом [1].

Последующие исследования таких выдающихся химиков, как Волластон и Берцелиус, не подтвердили открытие этих двух элементов, поэтому на протяжении большого периода времени считалось, что колумбий Геттчета и тантал Экеберга – это один и тот же химический элемент. В 1844 году Розе доказал, что минерал колумбит содержит два очень похожих по химическим свойствам элемента, один из них он назвал ниобием, а другой танталом.

В то время известны были только два изотопа тантала – Ta^{181} (99,988 %) и Ta^{180} (0,0125 %), а у обнаруженного в 1955 году ниобия природных изотопов найдено не было. В настоящее время известно пятнадцать радиоактивных изотопов тантала с массовыми числами в интервале от 172 до 186 и двадцать один радиоактивный изотоп ниобия с массами в интервале от 89 до 113 [1].

Для исследований и аналитики используется только один изотоп тантала – Ta^{182} , ввиду его удобных периода полураспада (111 дней) и энергий β - и γ -излучений. Ta^{182} получают облучением нейтронами металлического тантала в ядерных реакторах.

В настоящее время единственным изотопом ниобия, который применяется в лабораторных исследованиях, является Nb^{95} , получаемый в ядерных реакторах на тепловых нейтронах, как продукт деления U^{235} [2].

1.2 Нахождение тантала и ниобия в природе

В земной коре содержание тантала и ниобия составляет соответственно $2 \cdot 10^{-4}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ % (масс.) [1].

Тантал и ниобий являются сопутствующими элементами и встречаются в виде соединений, аналогичных фосфорным кислотам: орто-, мета- и пирониобиевой (пиротанталовой) кислот, а также сложных комплексных соединений [3].

Минералы, содержащие тантал и ниобий достигают количества около ста тридцати. Семьдесят два из них – минералы ниобия и тантала, в остальных указанные элементы содержатся в виде примесей.

Кристаллическое строение и типы химических соединений этих минералов относят их к группам различных сложных безводных окислов и силикатов. Большинство из них относится к окислам [2].

Метаниобаты и метатанталаты марганца и железа являются наиболее распространенными природными соединениями. Тантал и ниобий в этих минералах обладают изоморфизмом и замещают друг друга в разных соотношениях и тем самым образуют ряд соединений с переменным составом. Минералы с большей концентрацией тантала называют танталитами, а минералы с большей концентрацией ниобия – колумбитами.

Большой практической значимостью обладают минералы сложного переменного состава, такие, как лопарит, пирохлор, ильмено-рутил. Помимо основных элементов в составе этих минералов находится большое количество титана, щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и других элементов [2].

Тантал и ниобий находится в месторождениях России, Австралии, США, Бразилии, Индии. Мировой запас ниобиевых минералов (исключая Российские) достигает порядка 10^6 тонн ниобия. Соотношение ниобия и

тантала в североамериканских минералах достигает значения 150 : 1, а в африканских – 3 : 1, в российских месторождениях от 8 : 1 до 1 : 20 [1].

1.3 Применение тантала и ниобия

В чистом металлическом виде тантал и ниобий были получены спустя более ста лет после открытия.

Впервые в промышленности тантал нашел применение в начале XX века, а до 1930 года ниобий расценивался как нежелательная примесь в танталовом сырье. На данный момент и ниобий, и тантал отнесены к числу важных металлов и их производство достигло значительных масштабов [1].

Одна из крупнейших областей применения ниобия основана на его тугоплавкости и высокой прочности при высоких температурах. Ниобий используется в производстве жаростойких сплавов для реактивных систем и газовых турбин. В этой сфере у ниобия есть преимущество перед танталом, так как его атомная масса практически в два раза меньше. Ниобий также нашел применение в получении сверхпроводящих сплавов. Ниобий также имеет перспективы развития как конструкционный материал в атомной технике, так как имеет меньшее поперечное сечение захвата тепловых нейтронов (1,1 барн/атом) в сравнении с другими материалами, не реагирует с жидкометаллическими хладагентами [4].

В ходе некоторых исследований было установлено, что при 900 °С ниобий практически не реагирует с ураном, следовательно может быть использован в производстве оболочек ТВЭЛов. Присадка ниобия (около 7 %) к урану способствует созданию на его поверхности защитной оксидной пленки, что повышает устойчивость урана в воде при довольно высоких температурах (около 350 °С) [4].

Тантал в ядерной энергетике используется в большинстве случаев в качестве конструкционного материала, а именно в аппаратах для переработки отработавшего ядерного топлива [5].

Ниобий нашел применение в металлургии в производстве нержавеющей, инструментальной, жаропрочной, антикоррозионной сталей и сплавов, высокоэрцитивных магнитных сплавов, при легировании алюминия, меди, молибдена, циркония и их сплавов. Тантал и ниобий также используются в производстве коррозионноустойчивой аппаратуры [2].

Карбиды тантала и ниобия применяются в производстве некоторых сплавов повышенной твердости и жаростойкости. Сплав карбидов тантала и гафния плавится при температурах выше 4000 °С и является одним из самых тугоплавких материалов из известных на данный момент. Бориды тантала и ниобия нашли применение в производстве жаростойких и огнеупорных сплавов, силициды в производстве жаростойкой металлокерамики.

Тантал и ниобий применяются для изготовления анодов, сеток, катодов косвенного накала и прочих составляющих радиоламп. Они также используются в изготовлении критронов – более эффективных переключателей в счетных электронных приборах, чем электровакуумные и кристаллические полупроводниковые компоненты. Танталаты и ниобаты некоторой группы металлов проявляют сегнетоэлектрические свойства [1].

1.4 Физические свойства ниобия и тантала

Тантал – металл светло-серого цвета с голубоватым оттенком. Тугоплавкость тантала по температуре плавления (3000 °С) уступает только соответствующим свойствам вольфрама и рения. Этот металл сочетает в себе высокие прочность и твердость с хорошей пластичностью. Металлический тантал высокой чистоты легко поддается любой механической обработке, штамповке, прокатке в листы толщиной около 0,04 мм и проволоку [6].

Ниобий – серебристо-серый металл с характерным металлическим блеском. Металлический ниобий хорошо обрабатывается на холоду и сохраняет свои механические свойства при повышенных температурах.

Примеси некоторых неметаллов, в частности водород, азот, углерод и кислород, сильно понижают пластичность и повышают твердость ниобия [4].

Основные физические свойства тантала и ниобия приведены в таблице А.1 (приложение А) [2].

1.5 Химические свойства тантала и ниобия

1.5.1 Взаимодействие с газами

Кислород

Начиная с температур (200 – 300) °С наблюдается окисление металлических ниобия и тантала в среде воздуха, об этом свидетельствует изменение цветов их поверхностей. При температурах, выше 550 °С скорость окисления возрастает, на поверхности образуются пентоксиды.

В системе ниобий – кислород существуют три стабильных оксида: NbO, NbO₂ и Nb₂O₅. Также, в интервале NbO₂ – Nb₂O₅ существуют промежуточные фазы с переменным составом, например, Nb₁₂O₂₉, Nb₂₂O₅₄, Nb₂₅O₆₂ и другие.

Растворимость кислорода в ниобии при температурах, близких к эвтектической точке (1915 °С), составляет (0,72 – 1,67 % масс.). При 1200 °С растворимость кислорода уменьшается 0,35 % масс.

В системе тантал – кислород стабильно существует только пентоксид (Ta₂O₅). Все низшие оксиды устойчивы и диспропорционируют на пентоксид и металлический тантал. Растворимость кислорода в тантале в точке эвтектики намного ниже, чем в ниобии (около 0,35 % масс.) [7].

Водяной пар, углекислый и угарный газы

Ниобий и тантал активно окисляются водяным паром при 600 °С, образуя оксиды с выделением водорода. Скорость окисления тантала и ниобия воздухом практически не зависит от содержания в нем воды.

Углекислый газ при температурах выше 500 °С взаимодействует с танталом и ниобием, окисляя их до оксидов. Угарный газ реагирует с танталом и ниобием при температурах выше 700 °С, поглощая кислород и углерод (образуя твердые растворы). В вакууме при высоких температурах происходит обратный процесс – выделение СО [7].

Азот

При температурах (500 – 600) °С тантал и ниобий активно реагируют с азотом, образуя твердые растворы и ряд нитридов. Растворимость азота в тантале и ниобии прямо пропорциональна температуре и давлению азота в системе. Нитриды ниобия и тантала образуются внедрением атомов азота в кристаллическую решетку. Нитридам свойственны электронная проводимость и относительно высокие температуры перехода в сверхпроводящее состояние.

На холоде моонитриды устойчивы, как и при нагреве в соляной кислоте любой концентрации. Окисление моонитридов тантала и ниобия происходит при нагревании в азотной и серной кислотах, растворах перекиси водорода. В смеси азотной и плавиковой кислот быстро растворяются [7].

Водород

Водород хорошо растворяется в металлических тантале и ниобии при температуре выше 300 °С. Растворимость водорода обратно пропорциональна температуре и прямо пропорциональна давлению водорода. При насыщении водородом металлов образуются близкие к моногидридам соединения, однако истинное содержание водорода описывается составом $MeH_{0,9-0,94}$. При высоком давлении паров водорода ниобий насыщается до дигирида, который является неустойчивым соединением и легко распадается до моногидрида. Растворение водорода в ниобии и тантале – обратимый процесс. При температурах (800 – 900) °С в вакууме водород полностью удаляется из кристаллической решетки.

Гидрирование тантала и ниобия используется при получении порошков, так как гидриды этих металлов очень хрупки и легко измельчаются [7].

Галогены

Пары фтора, хлора и брома легко взаимодействуют с танталом и ниобием при нагревании до 400 °С, образуя высшие галогениды MeF_5 . Пары йода взаимодействуют с этими металлами при температуре 1200 °С, так же образуя высшие йодиды. Известны и низшие галогениды, однако они являются переходными соединениями и неустойчивы при нормальных условиях. Все галогениды тантала и ниобия являются легколетучими веществами. На практике важны фториды и хлориды тантала и ниобия [7].

Углерод

При спекании порошков тантала и ниобия с углеродом (графит, сажа) на поверхности металла образуются слои карбидов Me_2C и MeC . Карбиды плавятся с разложением. Растворимость углерода в ниобии при температуре 2100 °С составляет 2,5 % (ат.) и снижается при понижении температуры. В тантале растворимость углерода имеет более пологий спад при понижении температуры. При температуре 1950 °С она составляет 2,15 % (ат.). Растворенный в тантале или ниобии углерод значительно повышает их твердость, но снижает пластичность. Так же как и нитриды, карбиды образуются внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку. Карбиды получают в процессе нагревания смеси металлического порошка и углерода до 1500 °С в присутствии водорода или взаимодействием пентоксидов с углеродом при 1900 °С в вакууме или в присутствии водорода. Монокарбиды тантала и ниобия не взаимодействуют с серной, азотной и соляной кислотами при комнатной температуре и при нагревании, но растворяются в смеси HNO_3 и HF . На воздухе при температурах выше 500 °С карбиды быстро окисляются до оксидов [7].

1.6 Способы разделения и очистки тантала и ниобия

Ввиду технологической сложности разделения тантала и ниобия, можно выделить несколько методов, представляющих интерес для промышленности [2]:

- дробная кристаллизация комплексных фторидов;
- жидкостная экстракция;
- ионообменное разделение;
- ректификация хлоридов;
- избирательное восстановление ниобия в смеси хлоридов.

1.6.1 Дробная кристаллизация комплексных фторидов

До середины двадцатого века данный метод был единственным, использованным в промышленности методом разделения тантала и ниобия. Он основан на различиях в растворимости K_2TaF_7 и моногидрата K_2NbOF_5 . Схема разделения тантала и ниобия методом дробной кристаллизации представлена на рисунке А.1 (приложение А) [2].

На рисунке 1 представлена зависимость растворимости K_2TaF_7 от концентрации K_2NbOF_5 [2].

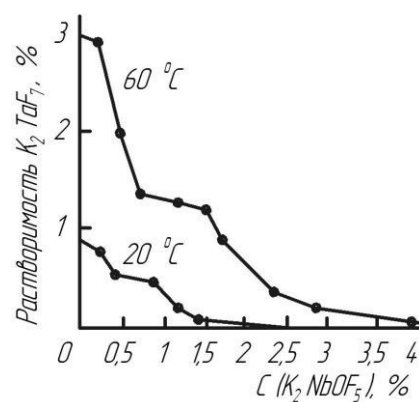


Рисунок 1 – Зависимость растворимости соли K_2TaF_7 от концентрации K_2NbOF_5

В избытке плавиковой кислоты с концентрацией 40 % растворяют сухие или влажные оксиды тантала и ниобия. Растворение проводится в гуммированных агитаторах, после чего отстаивают. Осветленный раствор декантируют и отправляют на фильтрацию на хлопчатобумажной или перхлорвиниловой ткани. После фильтрации раствор разбавляют до такой концентрации H_2NbOF_5 , чтобы при добавлении хлорида калия в раствор с образованием калиевой соли, последняя не превышала 6 %, что способствует также уменьшению концентрации HF до (1 – 2) %, тем самым устанавливая благоприятные условия для проведения процесса разделения [1].

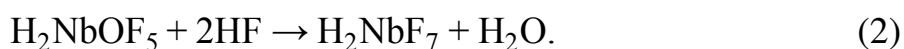
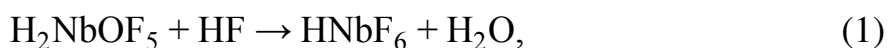
После добавления в нагретый раствор KCl , фильтрацией выделяют игольчатые кристаллы фтортанталата калия. Кристаллы, полученные таким образом содержат до 3 % ниобия и примеси кремния, железа и титана с концентрацией порядка 10^{-2} %. Маточный раствор, содержащий соль ниобия, выпаривают и охлаждают, кристаллизуя оксофторниобат калия моногидрат. Обе соли очищают дополнительно перекристаллизацией в несколько (от 8 до 10) стадий. Титан в данном цикле образует моногидрат $\text{K}_2\text{TiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который обладает изоморфизмом с ниобиевой солью $\text{K}_2\text{NbOF}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и при кристаллизации выпадает вместе с ней, однако частично от этой примеси избавляются на стадии перекристаллизации [2].

Метод дробной кристаллизации обеспечивает высокую чистоту полученной танталовой соли, однако получить таким способом чистую ниобиевую соль довольно проблематично.

1.6.2 Жидкостная экстракция

Экстракционный метод разделения тантала и ниобия является самым распространенным в промышленности методом на сегодняшний день. Данный метод предоставляет возможность получения высокочистых тантала и ниобия и прост в реализации в промышленных масштабах.

Жидкостную экстракцию проводят из растворов фтористых солей ниобия и тантала в плавиковой кислоте, в некоторых случаях с добавлением соляной или серной кислот. При концентрации плавиковой кислоты (0,5 – 12) моль/л тантал находится преимущественно в форме анионов TaF_6^- . В присутствии фторидов аммония или калия образуются комплексные соединения TaF_7^{2-} . Ниобий же при концентрации HF менее 4 моль/л находится в виде гидролизованых комплексов $NbOF_5^{2-}$, а при более высокой кислотности переходит в фторокомплексы [1]:



В данном методе используются нейтральные экстрагенты (кетоны, алкилфосфаты) и анионообменные – соли аминов. Среди нейтральных экстрагентов лучше всего себя показывают трибутилфосфат (рисунок 2) и метилизобутилкетон (рисунок 3) [1].

Трибутилфосфат имеет некоторые преимущества перед метилизобутилкетонем, например его температуры кипения и воспламенения намного выше, а растворимость в воде ниже.

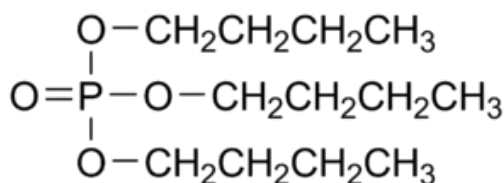


Рисунок 2 – Структурная формула трибутилфосфата

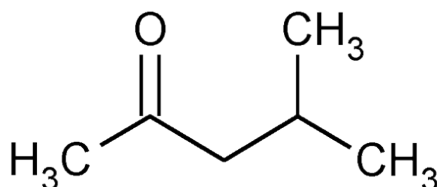
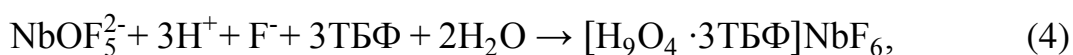
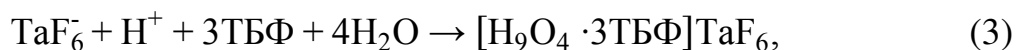


Рисунок 3 – Структурная формула метилизобутилкетона

Трибутилфосфат не лишен недостатков: он обладает высокой плотностью и вязкостью, поэтому нуждается в разбавлении. В качестве разбавителя часто используют легкие инертные разбавители, такие как керосин, ксилол, РЭД-3М и другие.

Экстракция трибутилфосфатом и метилизобутилкетон проходит по гидратно-сольватному механизму при концентрациях HF около 5 моль·эк/л. В их присутствии образуются большие комплексные катионы $[\text{H}_3\text{O}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Э}]^+$, где Э – трибутилфосфат или метилизобутилкетон, в следствие того, что ионы гидроксония $[\text{H}_3\text{O} \cdot 3\text{H}_2\text{O}]^+$ связываются с активными группами трибутилфосфата P=O или метилизобутилкетона C=O. К этому катиону присоединяются комплексные анионы MeF_6^- и MeF_7^- [2].

Тантал легко экстрагируется и из слабокислых, и из сильнокислых фтористых растворов, в то время, как ниобий экстрагируется только при концентрациях HF более 4 моль/л. Это объясняется тем, что ниобий в слабокислых растворах присутствует только в виде оксофторидных комплексов, что прямо влияет на коэффициент распределения, так как реакции сольватации танталовых и ниобиевых соединений в таком случае различаются [1]:



$$D_{\text{Ta}} = K_{\text{Ta}} \cdot [\text{H}^+]_{\text{водн}}^3 \cdot [\text{ТБФ}]_{\text{орг}}^3, \quad (5)$$

$$D_{\text{Nb}} = K_{\text{Nb}} \cdot [\text{H}^+]_{\text{водн}}^3 \cdot [\text{F}^-]_{\text{водн}} \cdot [\text{ТБФ}]_{\text{орг}}^3, \quad (6)$$

где K_{Ta} и K_{Nb} – константы равновесия реакций экстракции;

$[\text{H}^+]$ – концентрация ионов водорода в водной фазе, моль/л;

$[\text{F}^-]$ – концентрация ионов фтора в водной фазе, моль/л;

$[\text{ТБФ}]$ – концентрация трибутилфосфата в органической фазе, моль/л.

На рисунке 4 [2] представлена зависимость количества экстрагируемых изобутилкетонем тантала и ниобия от концентрации плавиковой кислоты.

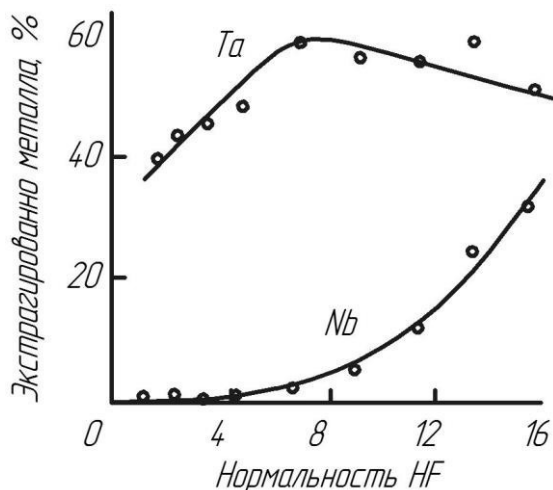


Рисунок 4 – Зависимость количества экстрагируемых изобутилкетонем тантала и ниобия от концентрации плавиковой кислоты

На рисунке 5 [2] представлена зависимость коэффициентов распределения тантала и ниобия при экстракции трибутилфосфатом от концентрации плавиковой кислоты.

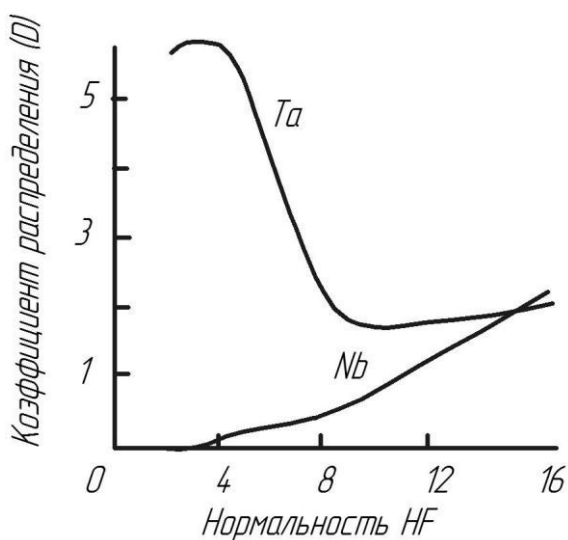


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов распределения тантала и ниобия при экстракции трибутилфосфатом от концентрации HF

При проведении экстракции из растворов, содержащих большое количество примесей, рекомендуется сначала проводить совместную экстракцию тантала и ниобия, тем самым отделяя титан, железо марганец и другие примеси, так как их коэффициенты распределения значительно ниже.

Коэффициенты распределения тантала, ниобия и некоторых примесей при концентрации плавиковой кислоты 10 моль/л в присутствии серной кислоты концентрацией в растворе 12 моль/л приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Коэффициенты распределения некоторых металлов

Элемент	Nb(V)	Ta(V)	Fe(II)	Mn(II)	Ti(IV)	Sn(IV)
Содержание в сходном растворе, г/л	2	2	10	2	10	2
$D = C_{\text{орг}}/C_{\text{водн}}$	183	119	0,001	0,017	0,02	0,005

Конечное разделение тантала и ниобия происходит на стадии реэкстракции. Можно выделить три стадии разделения тантала и ниобия [2]:

- 1) Совместная экстракция Ta и Nb трибутилфосфатом или метилизобутилкетонем из растворов с концентрацией HF (5 – 8) моль/л и концентрацией серной кислоты (4 – 5) моль/л;
- 2) Реэкстракция Nb водой, при этом в водный раствор из органической фазы переходит и большая часть плавиковой кислоты;
- 3) Реэкстракция тантала водными растворами.

Экстракцию можно проводить в каскадах смесителей-отстойников, пульсационных колонн или центробежных экстракторов. Чистые гидратированные оксиды Nb₂O₅ и Ta₂O₅ получают осаждением из реэкстрактов аммиаком. Полученные осадки содержат примеси в количестве порядка 10⁻² % .

1.6.3 Ионообменное разделение

Для осуществления разделения тантала и ниобия, а также их очистки от сопутствующий кремния, железа и титана используют различного рода аниониты. Ионообменное разделение проводят в растворах HF или смеси HF и H₂SO₄ или HCl, так как в этих средах тантал и ниобий находятся в виде комплексных анионов. В процессе ионообменного разделения используют анионит ЭДЭ-10П, так как его полная динамическая емкость по ниобию – 460 мг/г, по танталу – 590 мг/г, а по титану – 110 мг/г, при этом в ряду NbOF₅²⁻, TiF₆²⁻, TaF₆⁻ возрастает сродство иона к иониту, что позволяет последовательно избирательно десорбировать ниобий, титан и тантал [1].

Ниобий и железо лучше всего десорбируются смесью плавиковой (1 г/л) и соляной (35 г/л) кислот, кремний и титан – соляной кислотой с концентрацией 84 г/л, а тантал – смесью соляной (180 г/л) и плавиковой (10 г/л) кислот. В первой фракции фильтрата при элюировании содержится железо и до 80 % ниобия, во вторую фракцию попадает остаток ниобия, весь кремний и титан, а в третьей – чистый тантал. Полученный таким методом пентоксид ниобия или тантала может содержать примеси в количестве порядка 10⁻² % или менее [1].

На рисунке 6 представлены кривые последовательной десорбции элементов при использовании анионита ЭДЭ-10П.

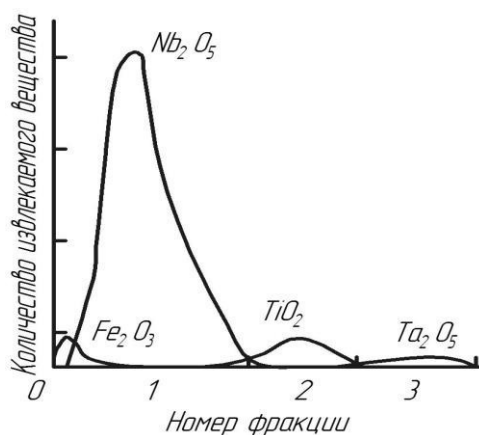


Рисунок 6 – Кривые последовательной десорбции элементов

1.6.4 Ректификационный метод разделения тантала и ниобия

Ректификационный метод основан на различной летучести пентахлоридов тантала и ниобия. Их относительная летучесть Nb/Ta составляет 1,34. Для получения пентахлоридов ниобия и тантала чистотой в 99,9 % необходима ректификационная колонна с количеством тарелок, приблизительно равным 50. Основные примеси (титан, железо, кремний и другие) легко удаляются в процессе ректификации ввиду большой разницы в летучестях их хлоридов (относительная летучесть $NbCl_5/MeCl_n$ может достигать значения 13,3). Процессу ректификации может препятствовать образующийся из хлорида железа (III) хлорид железа (II) [7]:



$FeCl_2$ обладает низкой летучестью и накапливается в аппарате, что способствует снижению тепло- и массообмена. Также процессу ректификации может мешать нахождение в смеси оксохлорида ниобия, который имеет высокую температуру сублимации. Во избежание возникновения данной проблемы проводят дохлорирование различными способами. Еще одним недостатком данной технологии является высокая агрессивность рабочей среды. Потоки пентахлорида тантала с высокой концентрацией легко взаимодействуют с обычными конструкционными материалами, поэтому для осуществления процесса требуется использование особо коррозионно-стойких материалов [1].

Ректификацию осуществляют в 3 стадии:

- 1) Предварительная ректификация (совместное отделение ниобия и тантала от сопутствующих элементов);
- 2) Основная ректификация (разделение пентахлоридов ниобия и тантала, причем полученный пентахлорид ниобия не нуждается в доочистке);
- 3) Ректификация танталовой фракции (доочистка пентахлорида тантала).

1.6.5 Селективное восстановление хлоридов ниобия

Данный метод основывается на меньшей прочности соединений ниобия относительно аналогичных соединений тантала. Смесь газов нагревают с водородом до 500 °С и NbCl_5 восстанавливается до NbCl_3 [2]:



Для восстановления пентахлорида ниобия также используют алюминий, ниобий, железо и другие металлы, так как пентахлорид тантала с ними в данных условиях не взаимодействует и его можно отогнать. В отогнанной смеси будет присутствовать непрореагировавший пентахлорид ниобия, однако в дальнейшем он также восстанавливается до трихлорида, а затем до металла.

1.6.6 Выбор технологии разделения тантала и ниобия

Проанализировав полученную информацию, был сделан вывод, что метод жидкостной экстракции подойдет для разделения ниобия и тантала как нельзя лучше, так как он прост в реализации в промышленных масштабах и позволяет получить ниобий и тантал высокой степени чистоты. Также стоит отметить, что данный метод обладает достаточной производительностью для реализации процесса, а также широко используется в промышленности в наше время. В качестве экстрагента выбран раствор ТБФ в РЭД-3М, приготавливаемый из соотношения 85 % ТБФ и 15 % РЭД-3М.

1.7 Аппаратурное оформление метода жидкостной экстракции

Для осуществления процесса экстракции необходимо осуществлять некоторые вспомогательные процессы в технологической цепочке, такие, как перемешивание для увеличения поверхности массообмена, разделение фаз и разделение смесей экстрактов дистилляцией для регенерации экстрагента и

выделения извлекаемого компонента. Классификацию жидкостных экстракторов можно представить в виде схемы на рисунке Б.1 (приложение Б) [8].

1.7.1 Распылительные колонны

Распылительная колонна заполнена сплошной тяжелой фазой (дисперсионной средой). Легкая (дисперсная) фаза подается в колонну при помощи специального распределительного устройства для создания мелких капель. На определенном уровне находится слой легкой фазы, образующаяся вследствие слипания и слияния капель дисперсной фазы. Границу раздела фаз поддерживают на определенном уровне для регуляции проведения процесса экстракции и отвода фаз. Сверху и снизу диаметр колонны увеличен для улучшения отстаивания. Схема такой колонны приведена на рисунке 7. Здесь А – тяжелая фаза, Б – легкая фаза [8, 9].

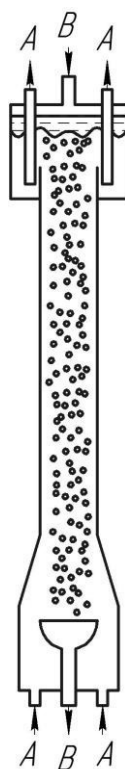


Рисунок 7 – Схема распылительной колонны

Такие колонны отличаются хорошей производительностью, но обладают малым коэффициентом разделения и не подходят для получения высокочистых веществ [9].

1.7.2 Пульсационные колонны

Принцип действия пульсационной колонны основан на сообщении жидкости вибраций (пульсаций) небольшой амплитуды и определенной частоты. Такие колонны могут быть как сетчатыми, так и насадочного типа. Пульсации передаются подключением поршневого насоса к линии подачи одной из фаз или к днищу колонны. Диспергирование происходит во время подачи пульсации, что в разы увеличивает поверхность массообмена и интенсифицирует процесс экстракции [8].

На рисунке 8 представлена схема пульсационной колонны с подключением пульсационного насоса к линии подачи легкой фазы. Здесь А – тяжелая фаза, Б – легкая фаза.

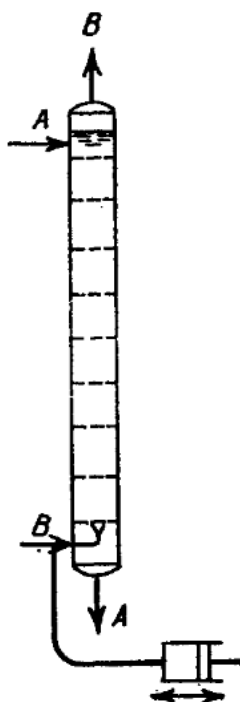


Рисунок 8 – Схема пульсационной колонны

Недостатком пульсационных колонн является высокая энергозатратность, такие колонны целесообразно использовать только в определенных случаях, например, когда необходима организация дистанционного управления [9].

1.7.3 Смесительно-отстойные экстракторы

Смесительно-отстойные экстракторы подразумевают наличие смесительной и отстойной камер, одна такая комбинация смешения и отстаивания называется ступенью. Каскад смесительно-отстойных экстракторов может насчитывать более двадцати таких ступеней. При организации каскада экстракторов используют как прямоточное движение тяжелой и легкой фаз, так и противоточное. На рисунке 9 представлена одна ячейка (ступень) смесительно-отстойного каскада экстракторов [8].

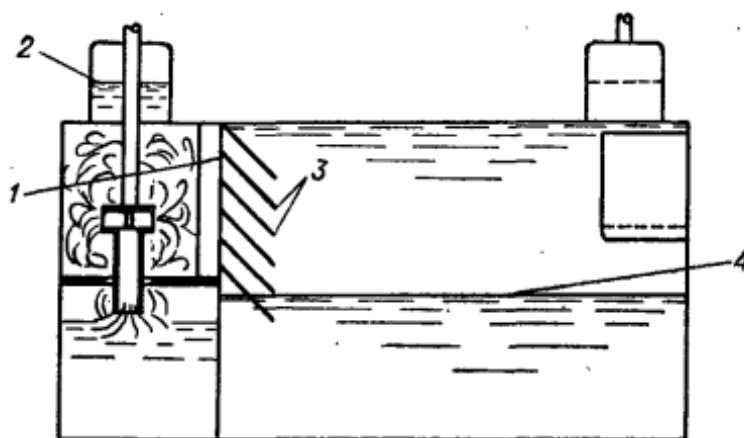


Рисунок 9 – Ячейка каскада смесительно-отстойных экстракторов

На рисунке: 1 – жалюзи, 2 – уровень жидкости в экстракторе, 3 – направляющие, 4 – граница раздела фаз.

Смесительно-отстойные экстракторы обладают хорошим коэффициентом разделения и очень низкой производительностью [9].

1.7.4 Смесительно-отстойные экстракторы с центробежным разделением фаз

Данный тип экстракторов обладает гораздо более высокими показателями производительности по сравнению с предыдущим типом, при этом коэффициент разделения такого типа экстракторов ему не уступает.

Смешение фаз также производится в смесительной камере с мешалкой, однако разделение фаз происходит под действием центробежной силы в роторе. На рисунке 10 приведена схема такого экстрактора [8, 9].

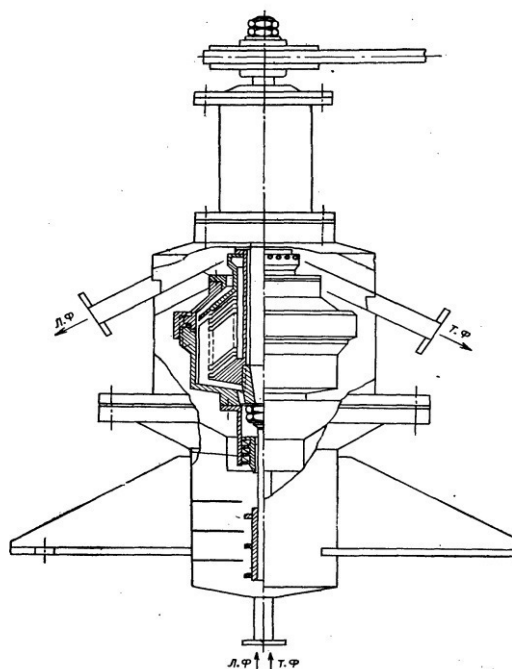


Рисунок 10 – Смесительно-отстойный экстрактор с центробежным разделением фаз

Для проведения процесса был выбран каскад смесительно-отстойных экстракторов с центробежным разделением, так как такие экстракторы обладают хорошим коэффициентом разделения, высокой производительностью и довольно просты в реализации в промышленных масштабах.

5 План размещения оборудования

5.1 Подбор основного технологического оборудования

Так как растворы плавиковой кислоты очень агрессивны, для выполнения этой задачи выберем насос роликового типа. Для перекачивания жидкостей был выбран насос Nupro Ni-Resist 7560XL [15], подготовленный для работы в агрессивных средах. Выбор данного типа насосов предусматривает возможное снижение напора жидкости в местах поворота или изменения диаметра трубопровода.

Также для работы основного аппарата (экстрактора) необходимо подобрать электропривод мешалки и ротора. В пункте 3.5.4 уже была посчитана необходимая для работы экстрактора мощность с учетом пусковых нагрузок. Выбран электропривод Synchronus Motors 1FT6 [16] с частотой оборотов 2000 об/мин и номинальной мощностью 12 кВт.

В качестве буферных емкостей выбраны пластиковые емкости производства ОАО «Екатеринбургский Завод Полиэтиленовых Изделий».

5.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования

Расчет объема емкости произведем так, чтобы ее объема было достаточно для непрерывной работы в течение недели.

$$V_{\text{емк}} = G \cdot \frac{t}{\rho}, \quad (41)$$

где G – расход вещества, кг/ч,

t – время, $t = 168$ ч,

ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Объемы емкостей для водных фаз можно принять равными, так же как и объемы емкостей для органических фаз. Таким образом, вычислим объем емкости для водной и органической фаз (41):

$$V_{\text{емк}}^{\text{водн}} = 1,27 \cdot \frac{168}{1248} = 0,17 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{емк}}^{\text{орг}} = 3,04 \cdot \frac{168}{934} = 0,55 \text{ м}^3.$$

Таким образом, можно принять объем емкости для водной фазы равным $0,2 \text{ м}^3$, а для органической – $0,75 \text{ м}^3$. Объемы емкостей выбраны в соответствии с рыночными объемами [19]. Основные параметры вспомогательного оборудования приведены в таблице В.1 (приложение В). Таким образом, зная параметры оборудования можно произвести энергетический расчет технологической схемы цеха.

5.3 Энергетический расчет технологической схемы

Полную мощность оборудования цеха найдем, сложив мощности каждой единицы оборудования, находящейся в цехе:

$$N_{\text{ц}} = 4N_{\text{нас}} + 12N_{\text{прив}} = 4 \cdot 1 + 12 \cdot 12 = 4 + 144 = 148 \text{ кВт.}$$

5.4 План размещения оборудования

Несущие колонны строения выбраны по ГОСТ 18979-90 [20]. Ширина и длина колонны равна 400 мм, осевое расстояние между колоннами – 6 м. Стены и кровля выполнены из сэндвич-панелей, утепленных минеральной ватой. План размещения оборудования представлен на чертеже ДП ФЮРА.066284.000 ТО.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Расчет капитальных затрат

В соответствии с методикой построения быстровозводимых зданий [21] для цеха экстракционного разделения тантала и ниобия были выбраны основные параметры строения, указанные в таблице 14.

Таблица 14 – Основные параметры строения

Габаритные размеры здания, м	19 × 13
Размеры здания по колоннам	18 × 12
Высота по стене, м	4,76
Площадь здания, м ²	216
Полезный объем здания, м ³	791
Шаг несущих колонн, м	6
Тип несущих колонн	Двухавр широкополочный 35Ш1

В таблице 15 приведены стоимости строения и отдельных его составляющих.

Таблица 15 – Стоимость возведения цеха

Позиция	Стоимость, руб
Конструкции стального каркаса	1 056 814,18
Материалы стен (утепленные, из сэндвич-панелей толщиной 60 мм)	268 260,10
Материалы кровли (утепленная, из сэндвич-панелей толщиной 80 мм)	315 670,51
Окна	113 400,00

Продолжение таблицы 15

Ворота (распашные 2-створчатые утепленные световым проемом 3000×3000 мм)	359 810,10
Фасонные элементы	87 336,00
Крепежные детали	25 324,35
Итого	2 226 615,00

В таблицах 16, 17 представлена стоимость монтажных и санитарно-технических работ, необходимых для возведения проектируемого цеха.

Таблица 16 – Стоимость монтажных работ по возведению цеха

Позиция	Стоимость, руб
Стоимость возведения фундамента и цоколя	615 960,00
Стоимость монтажа здания с автокраном	524 360,00
Итого	1 140 320,00

Таблица 17 – Стоимость санитарно-технических работ

Позиция	Процент от стоимости здания, %	Стоимость, руб
Отопление	5	111 331,00
Вентиляция	5	111 331,00
Водопровод	3	66 798,50
Канализация	3	66 798,50
Освещение	3	66 798,50
Итого		423 057,35

Полная стоимость здания:

$$C_{зд} = 2226615 + 1140320 + 423057,35 = 3789992,35 \text{ руб.}$$

В таблицах 18, 19 представлены затраты на закупку, установку и отладку оборудования.

Таблица 18 – Расчет затрат на оборудование

Наименование	Кол-во	Цена, руб	Стоимость, руб
Экстрактор	12	120500,00	1 446 000,00
Привод экстрактора	12	41027,00	492 324,00
Емкость для водной фазы	5	3650,00	18 250,00
Емкость для органической фазы	1	6900,00	6 900,00
Насос роликовый	4	22500,00	90 000,00
Итого			2 053 474,00

Таблица 19 – Затраты на установку и отладку оборудования

Позиция	Процент от стоимости оборудования	Стоимость, руб
Транспортные расходы	10	205 347,40
Устройство фундаментов	10	205 347,40
Монтаж трубопроводов	15	308 021,10
Антикоррозионные работы	5	102 673,70
Монтаж оборудования	25	513 368,50
КИПиА	20	410 694,80
Вспомогательные устройства	5	102 673,70
Итого		1 848 126,6

Полные капитальные затраты:

$$C_{кап} = 3789992,35 + 2053474 + 1848126,6 = 6028278,95 \text{ руб.}$$

Амортизация здания:

$$A_{зд} = C_{зд} \cdot \frac{1}{\alpha} = 3789992,35 \cdot \frac{1}{40} = 94749,81 \text{ руб.}$$

где α – срок полезного использования здания, $\alpha = 40$ лет.

Амортизация оборудования:

$$A_{\text{обор}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = (2053474,00 + 1848126,6) \cdot 0,1 = 223828,66 \text{ руб.}$$

6.2 Расчёт эффективного фонда времени

Процесс экстракции необходимо вести непрерывно, поэтому проектируемый цех должен работать круглосуточно. Таким образом, можно разделить сутки на три смены по 8 часов. Работа при таком графике должна осуществляться шестью производственными бригадами, состоящими из мастера смены и двух аппаратчиков. Первая смена – с 00-00 до 08-00, вторая смена с 08-00 до 16-00, третья смена – с 16-00 до 00-00. График сменности производственных бригад приведен в таблице 20.

Таблица 20 – График сменности производственных бригад

Д С	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	1	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д
2	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б
3	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В	Е	Б	Д	А	Г	В

В первом столбце таблицы 19: Д – день, С – смена.

Основываясь на графике сменности производственных бригад можно выяснить количества рабочего времени среднестатистического работника, необходимые для корректной работы цеха и соблюдения всех норм и правил ведения процесса и охраны труда. В таблице 21 представлен баланс рабочего времени среднесписочного рабочего.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

Элементы времени	Непрерывное производство, 8 часовой рабочий день, кол- во бригад	
	дней	часов
Календарное число дней	365	8760
Выходные дни	182	4368
Номинальный фонд рабочего времени	183	4392
Планируемые невыходы:		
очередные и дополнительные отпуска;	30	360
невыходы по болезни;	8	96
выполнение общественных обязанностей;	2	24
Итого (планируемые невыходы)	40	480
Эффективный фонд рабочего времени	143	3432

Для работы цеха, в нем должно находиться одновременно всего три рабочих: мастер смены и два аппаратчика, которые выполняют также обязанности по приготовлению растворов. При возникновении неполадок вызывается дежурный по участку слесарь, в постоянном нахождении его в цехе нет необходимости, так же как и в присутствии начальника цеха.

Определим списочную численность основных рабочих по формуле:

$$N_{\text{сп.}} = N_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб}}} = 3 \cdot \frac{300}{143} = 6 \text{ чел.}$$

где: $N_{\text{сп.}}$ – списочная численность основных рабочих, чел.,

$T_{\text{эф.обор.}}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год,

$T_{\text{эф.раб}}$ – проектируемое число дней работы одного рабочего в год.

Явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{обсл}}} \cdot F \cdot C = \frac{1}{4} \cdot 12 \cdot 3 = 9,$$

где $N_{\text{обсл}}$ – норма обслуживания (количество аппаратов, которое может обслужить один аппаратчик), $N = 4$,

F – количество установок, $F = 12$,

C – количество смен в сутки, $C = 3$.

Так как цех работает в непрерывном режиме, нет необходимости в периодической отладке, пуске и остановке оборудования. Это означает, что нет необходимости в постоянном присутствии в цехе электрика, механика и слесаря КИПиА, функции этих работников будут выполнять соответствующие дежурные по участку.

6.3 Расчет годового фонда заработной платы работников цеха.

Расчетный фонд вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \text{ руб./г.} \quad (42)$$

где $Z_{\text{год}}$ – расчетный фонд заработной платы, руб./г,

$Z_{\text{осн.}}$ – основная заработная плата, руб./г,

$Z_{\text{доп.}}$ – дополнительная заработная плата, руб./г.

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{в.см.}} + D_{\text{пр.}}, \text{ руб./г.} \quad (43)$$

где $Z_{\text{тар.}}$ – тарифный фонд, руб./г,

$D_{\text{в.см.}}$ – доплата за работу в вечернюю смену (30% от $Z_{\text{тар.}}$),

$D_{\text{пр.}}$ – доплата премий (30% от $Z_{\text{тар.}}$).

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени:

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф. раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i \cdot 1,3, \text{ руб./г.}$$

где $Z_{\text{тар.}}^i$ – тарифный фонд заработной платы рабочих i -ой квалификации,

$N_{\text{сп.}}^i$ – списочная численность рабочих i -ой квалификации в сутки,

$T_{\text{эф. раб.}}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего,

$T_{\text{ст.}}^i$ – тарифная часовая ставка рабочего i -ой квалификации.

Все начальники цеха должны являться инженерами-технологами первой категории, со стажем работы не менее 5 лет. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 1 категории составляет – 160 руб./ч.

$$З_{\text{тар.}}^1 = 1 \cdot 3432 \cdot 160 \cdot 1,3 = 713856 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 713856 \cdot 0,3 = 214156,8 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{\text{осн.}} = 713856 + 214156,8 = 928012,8 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 928012,8 \cdot 0,1 = 92801,28 \text{ руб./г}$$

где $П_{\text{д.зп}}$ – процент доплаты (принимается 10 %).

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 928012,8 + 92801,28 = 1020814,08 \text{ руб./г}$$

Часовая тарифная ставка мастера смены (инженера-технолога 3 категории) – 152 руб./ч.

Для мастеров смен:

$$З_{\text{тар.}}^1 = 1 \cdot 3432 \cdot 152 \cdot 1,3 = 678163,2 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = 678163,2 \cdot 0,3 = 203448,96 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{\text{осн.}} = 678163,2 + 203448,96 = 881612,16 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 881612,16 \cdot 0,1 = 88161,22 \text{ руб./г}$$

где $П_{\text{д.зп}}$ – процент доплаты (принимается 10 %).

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 881612,16 + 88161,22 = 969773,38 \text{ руб./г}$$

Для корректной работы проектируемого цеха необходимы двое аппаратчиков пятого разряда в смену, а также младший обслуживающий персонал. Оклады данного персонала приняты согласно таблице 22.

Таблица 22 – Оклады персонала

Должность	Оклад, руб/мес
Аппаратчик 5-го разряда	41000
Уборщица	17000

Фонд заработной платы вычисляем путем умножения месячного оклада и на число месяцев работы в году с учетом районного коэффициента. Число месяцев работы в году принимаем равным 11.

Таким образом основной фонд ЗП аппаратчика:

$$\Phi_{\text{осн}} = 41000 \cdot 11 \cdot 1,3 = 586300 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата находится по формуле:

$$З_{\text{доп.}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}} \cdot Д_{\text{отп.}}}{В_{\text{к}}} = \frac{586300 \cdot 30}{365} = 48189,04 \text{ руб.}$$

где $\Phi_{\text{осн}}$ – основной фонд заработной платы;

$Д_{\text{отп}}$ – календарное количество дней отпуска (30 дней);

$В_{\text{к}}$ – календарный год – 365 дней.

Доплата за работу в праздничные дни:

$$Д_{\text{пр.д.}} = \frac{О \cdot N}{23,4} = \frac{53300 \cdot 12}{23,4} = 27333,33 \text{ руб.}$$

где $О$ – месячная заработная плата,

N – количество праздничных дней в году,

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{зп}} = \Phi_{\text{осн}} + З_{\text{доп.}} + Д_{\text{пр.д.}} = 586300 + 48189,04 + 27333,33 = 661822,37 \text{ руб.}$$

Основной фонд ЗП уборщицы:

$$\Phi_{\text{осн}} = 17000 \cdot 11 \cdot 1,3 = 243100 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп.}} = \frac{243100 \cdot 30}{365} = 19980,82 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

$$D_{\text{пр.д.}} = \frac{22100 \cdot 12}{23,4} = 11333,33 \text{ руб.}$$

где O – месячная заработная плата,

N – количество праздничных дней в году,

23,4 – среднемесячное число рабочих дней.

Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{зп}} = \Phi_{\text{осн}} + Z_{\text{доп.}} + D_{\text{пр.д.}} = 243100 + 19980,82 + 11333,33 = 274414,15 \text{ руб.}$$

Полный годовой фонд заработной платы в цехе:

$$\Phi_{\text{зп}} = 1020814,08 + 969773,38 + 661822,37 + 274414,15 = 2926824 \text{ руб./г}$$

6.4 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на технологическую электроэнергию:

$$Z_{\text{э.н.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}},$$

где $T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (4,2 руб.);

$N_{\text{т}}$ – потребление энергии, кВт·ч/год (1118880 кВт·ч/год).

$$Z_{\text{э.н.}} = 4,2 \cdot 1118880 = 4699296 \text{ руб/год}$$

Расчет затрат на воду произведем исходя из норм месячного потребления холодного и горячего водоснабжения на человека, так как для проведения экстракции подведение воды не требуется.

$$Z_{\text{в}} = N_{\text{чел}} \cdot (N_{\text{х}} \cdot C_{\text{х}} + N_{\text{г}} \cdot C_{\text{г}}) \cdot 11 = 3 \cdot (7 \cdot 33 + 4,5 \cdot 126) \cdot 11 = 26334 \text{ руб.}$$

где $N_{\text{чел}}$ – количество человек, прибывающих в цехе в одну смену,

$N_{\text{г}}$, $N_{\text{х}}$ – месячные нормы потребления горячей и холодной воды соответственно, м^3 ,

$C_{\text{г}}$, $C_{\text{х}}$ – стоимость 1 м^3 горячей и холодной воды соответственно, руб.

Затраты на освещение:

$$Z_{\text{осв}} = T_{\text{э}} \cdot \left(\frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot T_{\text{р}}}{1000} \right), \quad (44)$$

где 15 – количество Ватт на 1 м^2 пола,

$S_{\text{п}}$ – площадь пола, (216 м²),

M – количество часов искусственного освещения в сутки (16 ч.),

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб,

$T_{\text{р.об.}}$ – число дней работы производства в году, (300 дней).

$$Z_{\text{осв}} = 4,2 \cdot \left(\frac{15 \cdot 216 \cdot 16 \cdot 300}{1000} \right) = 65318,4 \text{ руб,}$$

Затраты на вентиляцию:

$$Z_{\text{вент}} = (P_{\text{вент}} \cdot T_{\text{к}}) \cdot T_{\text{э}} = 2 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 4,8 = 252288 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{к}}$ – календарный фонд времени (час);,

$P_{\text{вент}}$ - мощность электродвигателя вентиляции, кВт.

Затраты на отопление:

$$Z_{\text{отоп}} = \frac{a \cdot k \cdot T \cdot V}{1000} \cdot T_{\text{э}} = \frac{4,5 \cdot 2,93 \cdot 4896 \cdot 791}{1000} \cdot 4,2 = 214460,5 \text{ руб,}$$

где a – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт (4,5 кВт),

T – продолжительность отопительного сезона, ч (4896 ч),

$V_{\text{зд}}$ – объем отапливаемого помещения, м³ (791 м³),

k – стоимость за отопления за один куб горячей воды, 2,93 руб.

6.5 Расчет затрат на реагенты

Годовые затраты на реагенты приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Затраты на реагенты

Наименование	Цена за единицу, руб./кг	Количество на весь годовой выпуск, кг	Итоговые затраты, руб./год
Исходный раствор	370	40000	14800000
ТБФ	215	68000	14620000
РЭД-3М	233	12000	2796000
HF	243	2880	699840
NH ₄ F	250	4400	1100000
Итого			34015840

С учетом проливов растворов, браков, корректировки растворов закупается на 10% больше веществ, окончательная сумма будет равна:

$$Z_{\text{реал}} = 34015840 \cdot 1,1 = 37417424 \text{ руб/год.}$$

6.6 Калькуляция себестоимости передела

В таблице Д.1 (приложение Д) представлен расчет всех затрат, необходимых для обеспечения работы цеха.

Исходя из таблицы Д.1, себестоимость передела 1 тонны исходного раствора будет стоить:

$$C_c = \frac{47357788,39}{40000} = 1183,95 \text{ руб/т.}$$

6.7 SWOT-анализ

В таблице Е.1 (приложение Е) представлен результат проведения SWOT-анализа.

6.8 Вывод по разделу

В результате экономического расчета была найдена стоимость передела одной тонны исходного раствора – 1183,95 руб/т, размеры фондов заработной платы и капитальных затрат на постройку цеха и оборудование. Проведенный SWOT-анализ позволил выяснить текущую обстановку во внешней и внутренней среде предприятия, а также возможные проблемы и перспективы цеха для разработки стратегии его дальнейшего развития.

8 Автоматизация процесса

8.1 Введение

В настоящее время автоматизация различных процессов, как в промышленности, так и в повседневной жизни играет большую роль. Автоматизация промышленных процессов получения или переработки различных материалов позволяет управлять процессом, следить за параметрами его осуществления и изменять те или иные условия протекания процесса удаленно. Это способствует снижению вредности и опасности производства за счет того, что рабочим не нужно находиться в непосредственной близости от аппаратуры для управления регулирующими органами технологической цепочки, а также снижает вероятность неполадок в связи с человеческим фактором. В некоторых случаях удается полностью исключить вмешательство человека в работу аппаратуры, что помогает обеспечить занятость рабочих на других участках производства и повысить эффективность труда.

Частичная или полная автоматизация того или иного процесса позволяет значительно улучшить качество продукции и снизить процент отбракованных изделий, а также продлить срок службы оборудования.

8.2 Описание схемы автоматизации

Из емкости E1, уровень жидкости в которой измеряется уровнемером 1-1, показывается, регистрируется и сигнализируется (нижний уровень), исходный раствор, содержащий тантал и ниобий поступает в экстракционный каскад A1-A5. Расход исходного раствора экстракционный каскад A1-A5 контролируется расходомером 23-1. Задвижками 4 и 5 подача исходного раствора и экстрагента может быть перекрыта с пульта управления. Посредством изменения частоты оборотов насоса (позиция 3) регулируется плотность экстракта на выходе из экстракционного каскада, измеряемая плотномером 2-1. Рафинат из каскада экстракции отправляется на извлечение ниобия. Трубопровод для отвода рафината может быть перекрыт задвижкой 31 с пульта управления. Приводы экстракторов каскада A1-A5 могут быть задействованы с пульта управления (позиции 32 – 36).

Для осуществления экстракции в экстракционный каскад противотоком исходному раствору подается подкисленный экстрагент, который готовится в каскаде подкисления A6-A7 следующим образом: из емкости E2, оснащенной уровнемером 13-1, свежий экстрагент подается в каскад A6-A7. Противотоком в каскад подкисления подается раствор плавиковой кислоты из емкости E3, оснащенной уровнемером 15-1. Расходы экстрагента и раствора плавиковой кислоты контролируются расходомерами 29-1 и 28-1. Задвижками 11 и 12 может быть перекрыта подача HF и экстрагента соответственно. С помощью изменения частоты оборотов насосов (позиции 9 и 10) регулируется водородный показатель плавиковой кислоты на выходе из каскада подкисления, измеряемый рН-метром 8-1. Ослабленный после подкисления экстрагента раствор HF поступает в емкость E4, оснащенную уровнемером 14-1. Трубопровод, по которому слабый раствор HF поступает в емкость E4, может быть перекрыт задвижкой 47 с пульта управления. Уровни в каждой из емкостей показываются, регистрируются и сигнализируются (нижний уровень для E2 и E3 и верхний

уровень для Е4). Приводы экстракторов каскада А6-А7 могут быть задействованы с пульта управления (позиции 37, 38).

По мере прохождения экстрагентом каскада экстракции, его плотность измеряется после первой ступени плотномером 7-1 и после третьей ступени плотномером 6-1. Показания плотностей органической фазы всего экстракционного каскада показываются и регистрируются.

Экстракт, полученный на выходе из экстракционного каскада, отправляется в каскад реэкстракции А8-А12, где после второй и четвертой ступеней реэкстракции его плотность измеряется плотномерами 16-1 и 17-1 соответственно, а на выходе из каскада реэкстракции плотномером 19-1. Трубопровод, по которому экстракт поступает в каскад реэкстракции может быть перекрыт задвижкой 46 с пульта управления. Все показания плотномеров показываются и регистрируются. Полученный на выходе из каскада реэкстракции регенерированный экстрагент возвращается в каскад экстракции по трубопроводу, который может быть перекрыт задвижкой 48 с пульта управления.

Для осуществления реэкстракции в каскад реэкстракции из емкости Е5, оснащенной уровнемером 18-1, подается водный раствор NH_4F . Его расход контролируется расходомером 26-1. С помощью задвижки 21 трубопровод, по которому подается NH_4F может быть перекрыт с пульта управления. С помощью изменения частоты оборотов насоса (позиция 20) регулируется плотность регенерированного экстрагента на выходе из каскада реэкстракции, измеряемой плотномером 19-1. Реэкстракт, получаемый в каскаде реэкстракции собирается в емкость Е6, оснащенной уровнемером 22-1. Трубопровод, по которому реэкстракт поступает в емкость Е6 может быть перекрыт задвижкой 45 с пульта управления. Показания уровней жидкостей в емкостях Е5 и Е6 показываются, регистрируются и сигнализируются (нижний уровень для Е5 и верхний уровень для Е6). Приводы экстракторов каскада А8-А12 могут быть задействованы с пульта

управления (позиции 39 – 43). Схема автоматизации представлена на рисунке Ж1 в приложении Ж.

8.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации

Контролю подлежат:

- 1) Уровень жидкости в емкости E1.
- 2) Уровень жидкости в емкости E2.
- 3) Уровень жидкости в емкости E3.
- 4) Уровень жидкости в емкости E4.
- 5) Уровень жидкости в емкости E5.
- 6) Уровень жидкости в емкости E6.
- 7) Плотность органической фазы после ступени экстракции A5.
- 8) Плотность органической фазы после ступени экстракции A3.
- 9) Плотность органической фазы после ступени экстракции A1.
- 10) Плотность органической фазы после ступени реэкстракции A9.
- 11) Плотность органической фазы после ступени реэкстракции A11.
- 12) Плотность органической фазы после ступени реэкстракции A12.
- 13) pH раствора плавиковой кислоты после каскада подкисления.
- 14) Расход органической фазы из емкости E2.
- 15) Расход органической фазы на выходе из каскада экстракции (после ступени A1).
- 16) Расход органической фазы на выходе из каскада реэкстракции (после ступени A12).
- 17) Расход исходного раствора из емкости E1.
- 18) Расход рафината на выходе из каскада экстракции.
- 19) Расход раствора HF на входе в каскад подкисления.

- 20) Расход раствора NH_4F на входе в каскад рекстракции.
- 21) Расход рекстракта на выходе из каскада рекстракции.

Регулированию подлежат:

- 1) Плотность экстракта на выходе из каскада экстракции.
- 2) Плотность регенерированного экстрагента на выходе из каскада рекстракции.
- 3) Водородный показатель плавиковой кислоты на выходе из каскада подкисления.

Сигнализации подлежат:

- 1) Уровень жидкости в емкости E1.
- 2) Уровень жидкости в емкости E2.
- 3) Уровень жидкости в емкости E3.
- 4) Уровень жидкости в емкости E4.
- 5) Уровень жидкости в емкости E5.
- 6) Уровень жидкости в емкости E6.

8.4 Подбор контрольно-измерительных приборов

8.4.1 Подбор уровнемера

В связи с агрессивностью измеряемых сред (фтористые растворы, органические растворители) был выбран бесконтактный ультразвуковой уровнемер Endress + Hauser Prosonic FMU42 [47]. Его основные характеристики:

- рабочая температура: от минус 40 °С до плюс 80 °С;
- присоединение фланцем;
- рабочее давление от 0,7 бар до 2,5 бар;
- максимальная дистанция измерения в жидкостях – 10 м;
- взрывозащищенность.

8.4.2 Подбор расходомера и плотномера

Для измерения плотностей и расходов веществ подойдет один и тот же прибор – кориолисовый расходомер Endress + Hauser Proline Promass F 300 [48], так как принцип измерения кориолиса позволяет измерять непрерывно и параллельно две эти величины. Его основные характеристики:

- рабочая температура: от минус 196 °С до плюс 350 °С;
- погрешность измерений 0,05 %;
- возможность измерения жидкостей и газов с любыми плотностями;
- номинальный диаметр от 8 мм до 250 мм;
- возможность подключения выносного дисплея и подключения по беспроводной сети.

8.4.3 Подбор рН-метра

Для измерения рН среды растворов плавиковой кислоты отлично подойдет нестеклянный датчик рН Endress + Hauser Tophit CPS441D [49]. Данный прибор разработан для использования в агрессивных средах. Его основные характеристики:

- неразбиваемый нестеклянный электрод;
- бесконтактная индуктивная передача сигналов;
- измерения рН от 0 до 14;
- рабочая температура от минус 15 °С до плюс 135 °С;
- рабочее давление до 10 бар;
- степень защиты IP68.

8.5 Вывод по разделу

В процессе разработки функциональной схемы автоматизации процесса экстракционного разделения тантала и ниобия были определены основные параметры регулирования, а также контроля и сигнализации, составлена функциональная схема автоматизации процесса и выбраны основные контрольно-измерительные приборы. Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке Ж.1 в приложении Ж.