

**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 работы
Проект цеха получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала, производительностью 40 т/год по танталовому порошку УДК 669.294.047.75:669.046.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Лихачева Юлия Павловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ХТРЭ	Киселёв А.Д.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Автоматизация процесса»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	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
P3	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
P4	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
P5	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
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P7	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
P8	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
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	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
P11	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
0422	Лихачева Юлия Павловна

Тема работы:

Проект цеха получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала, производительностью 40 т/год по танталовому порошку	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Процесс получения порошкообразного тантала путем восстановления пентаоксида тантала парами магния. Производительность по танталовому порошку составляет 40 т/год. Содержание кислорода в готовом продукте не более 1 %.
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Введение</li><li>2. Обзор литературы</li><li>3. Расчеты и аналитика<ol style="list-style-type: none"><li>3.1. Теория процесса</li><li>3.2. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы.</li><li>3.3. Расчет материального баланса технологической схемы</li></ol></li></ol>

	<p>3.4. Расчет теплового баланса технологической схемы</p> <p>3.5. Расчет основного аппарата.</p> <p>3.5.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата</p> <p>3.5.2. Механический расчет основного аппарата</p> <p>3.5.3. Гидравлический расчет основного аппарата</p> <p>3.5.4. Энергетический расчет основного аппарата</p> <p><b>4. Результаты расчетов</b></p> <p><b>5. План размещения оборудования</b></p> <p>5.1. Подбор основного технологического оборудования</p> <p>5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования</p> <p>5.3. Энергетический расчет технологической схемы</p> <p>5.4. План размещения оборудования</p> <p><b>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p> <p><b>7. Социальная ответственность</b></p> <p><b>8. Автоматизация процесса</b></p> <p><b>9. Заключение</b></p> <p><b>10. Список использованных источников</b></p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93...2.034-83).</p> <p>2. Аппаратурно-технологическая схема</p> <p>3. План размещения оборудования</p> <p>Презентация Power Point Presentation</p>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ХТРЭ	Киселёв А.Д.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Лихачева Юлия Павловна		

## Реферат

Дипломный проект: 98 с., 12 рис., 30 табл., 39 источников литературы, 3 приложения.

Ключевые слова: пентаоксид тантала, порошок тантала, магнийтермическое восстановление, аппарат стесненного падения.

Объектом исследования является процесс магнийтермического восстановления пентаоксида тантала, с целью получения порошка тантала конденсаторного сорта.

Цель проекта: проектирование цеха получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала, производительностью 40 т/год по танталовому порошку.

Предметом исследования является цех получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала.

Производительность по готовому танталовому порошку составляет 40 т/год. Получение порошкообразного тантала осуществляется в аппарате стесненного падения высотой 2,6 м, диаметр рабочей зоны составляет 0,25 м. Процесс восстановления осуществляется при температуре 1100 °С в инертной атмосфере.

Готовый танталовый порошок содержит не более 1 % кислорода и 0,02 % магния, что позволяет применять его для изготовления конденсаторов с удельным зарядом в диапазоне от 80 тыс. до 150 тыс. мкКл/г.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В данном дипломном проекте используются ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
2. ГОСТ 26296-84. Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов
3. ГОСТ 33259-2015. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250.
4. ГОСТ 13268-88. Электронагреватели трубчатые.
5. ГОСТ 31360-2007. Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона.
6. ГОСТ 12.3.002-75. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.018-93. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
9. ГОСТ 17.2.3.02-2014. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
10. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
11. СанПиН 2.2.4.548-96. СанПиН. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
12. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
13. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

14. ГОСТ Р 12.4.255-2011. ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха.
15. СП 52.13330.2011. СП. Естественное и искусственное освещение.
16. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
17. ГОСТ 27652-88. Костюмы мужские для защиты от кислот. Технические условия.
18. ГОСТ 12.4.127-83. ССБТ. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества.
19. ГОСТ 12.4.028-76. ССБТ. Респираторы ШБ – 1 "Лепесток". Технические условия.
20. ГОСТ 12.4.153-85. ССБТ. Очки защитные. Номенклатура показателей качества.
21. ГОСТ 12.4.010-75. ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия.
22. ГОСТ Р 51673-2000. Водород газообразный. Технические условия.
23. СНиП 21-01-97\*. СНиП. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
24. СанПиН 2.2.4.548-96. СанПиН. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
25. ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

В данном дипломном проекте применены следующие термины и определения:

Металлотермия – восстановление металлов из их соединений другими металлами, химически значительно более активными, чем восстанавливаемые, при повышенных температурах;

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – экзотермический химический процесс типа горения, протекающий в

автоволновом режиме в смесях порошков и приводящий к образованию полезных конденсированных продуктов, материалов и изделий;

Удельная поверхность – усреднённая характеристика размеров внутренних полостей (каналов, пор) пористого тела или частиц раздробленной фазы дисперсной системы;

Коалесценция пор (в металлургии) – объединение пор в порошковом изделии (полуфабрикате), сопровождающееся уменьшением их суммарной площади поверхности с увеличением размеров более крупных пор за счёт вакансионного поглощения мелких;

Технологическая схема – это фиксированные тем или иным способом последовательность и перечень технологических операций, которые надо выполнить, чтобы превратить исходное сырьё в готовый продукт;

Аппаратурно-технологическая схема – совокупность машин и оборудования, взаимосвязанных технологическими процессами, с определенной последовательностью технологических операций;

Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека.

Перечень условных обозначений:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ППР – плановый предупредительный ремонт;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ОТ и ТБ – охрана труда и техника безопасности;

СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез;

ТаПМ – танталовый порошок мелкодисперсный;

ТЭН – трубчатый электронагреватель.



## Оглавление

Введение.....	12
1 Обзор литературы .....	14
1.1 Получение порошкообразного тантала .....	15
1.1.1 Натриетермический способ производства порошка тантала.....	15
1.1.2 Электрохимический метод .....	17
1.1.3 Восстановление пентахлорида тантала .....	18
1.1.4 Восстановление пентаоксида тантала .....	20
1.2 Обзор существующего аппаратурного оформления магнийтермического восстановления .....	23
2 Расчет и аналитика.....	31
2.1 Теория процесса.....	31
2.2 Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы .....	34
2.3 Расчет материального баланса технологической схемы .....	36
2.3.1 Расчет материального баланса процесса восстановления.....	36
2.3.2 Расчет материального баланса процесса выщелачивания .....	38
2.3.3 Расчет материального баланса процесса фильтрации .....	39
2.3.4 Материальный баланс процесса сушки.....	40
2.3.5 Материальный баланс процесса нейтрализации .....	41
2.4 Тепловой расчет процесса .....	42
2.4.1 Тепловой расчет процесса восстановления .....	44
2.5 Расчет основного аппарата .....	46
2.5.1 Расчет геометрии и габаритов основного аппарата .....	46
2.5.2 Механический расчет основного аппарата .....	48

2.5.3	Гидравлический расчет основного аппарата .....	50
2.5.4	Энергетический расчет основного аппарата .....	52
3	Результаты расчетов .....	55
4	План размещения оборудования .....	56
4.1	Подбор основного технологического оборудования .....	56
4.2	Расчет геометрии и габаритов оборудования .....	56
4.3	Энергетический расчет технологической схемы .....	57
4.4	План размещения оборудования .....	58
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	60
5.1	SWOT – анализ.....	60
5.2	Расчет численности рабочих .....	60
5.4	Расчет годового фонда заработной платы ИТР и вспомогательных работников цеха.....	65
5.5	Расчет капитальных затрат .....	67
5.6	Расчет технологических затрат .....	71
5.7	Затраты на реагенты .....	72
5.8	Калькуляция себестоимости передела.....	73
6	Социальная ответственность .....	75
6.1	Описание технологического процесса и оборудования.....	75
6.2	Анализ вредных факторов в проектируемой среде .....	76
6.2.1	Микроклимат .....	76
6.2.2	Вибрация .....	77
6.2.3	Шум .....	78
6.2.4	Производственное освещение.....	79
6.2.5	Вредные вещества .....	80

6.3 Анализ опасных факторов, проектируемой производственной среды.....	81
6.3.1 Электробезопасность .....	81
6.3.2 Пожарная безопасность .....	82
6.3.3 Охрана окружающей среды .....	83
6.3.4 Чрезвычайные ситуации.....	84
7 Автоматизация процесса.....	86
7.1 Описание схемы автоматизации.....	86
7.2. Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	89
7.3 Выбор контрольно-измерительных приборов.....	90
Заключение .....	92
Список используемых источников.....	94
Приложение А .....	99
Приложение Б.....	101
Приложение В.....	103
Приложение Г .....	104
Графические материалы:	
ДП ФЮРА 065452.000 Сборочный чертеж	
ДП ФЮРА 065452.000 Аппаратурно-технологическая схема	
ДП ФЮРА 065452.000 План цеха	
ДП ФЮРА 065452.000 Спецификация	

## Введение

Редкие металлы нашли широкое применение в различных отраслях мировой промышленности: электровакуумная техника и полупроводниковая электроника, атомная энергетика, авиация, ракетостроение и т.д. В последнее время развивающейся технологией является получение наноразмерных порошков конденсаторного сорта, изготавливаемых из танталового порошка [1].

В настоящее время в мире около 70 % производимого тантала приходится на использование в электровакуумной технике и производстве электролитических конденсаторов. Остальная часть используется при производстве химической аппаратуры (20 – 30 %) и сплавов (5 – 10 %) [1].

В связи с востребованностью порошка тантала возросла необходимость его получения в чистом виде, с содержанием примесных элементов в сумме не превышающих 150 ppm [2].

Неотъемлемым требованием к танталу, применяемому при изготовлении конденсаторов, является получение порошка с развитой удельной поверхностью. Наиболее распространенным методом получения порошкообразного тантала является натриетермическое восстановление гептафторотанталата калия. Удельная поверхность порошка, полученного данным методом составляет 5 м<sup>2</sup>/г.

Возможность получения порошка с большей удельной поверхностью данным способом ограничена физико-химическими особенностями процесса. Наиболее подходящим методом для получения порошка тантала конденсаторного сорта является магнийтермическое восстановление пентаоксида тантала [2].

Основная трудность данного метода заключается в регулировании температуры процесса, так как реакция восстановления протекает с выделением большого количества тепла. В качестве решения данной проблемы было предложено проводить процесс восстановления парами магния [2].

В данном дипломном проекте рассматривается технология получения порошка тантала магнийтермическим восстановлением пентаоксида тантала.

Цель дипломного проекта заключается в разработке проекта цеха для получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала, производительностью 40 т/год по танталовому порошку.

Объектом исследования является технологическая последовательность процесса восстановления пентаоксида тантала магнием.

Предметом исследования является цех получения порошкообразного тантала с помощью магнийтермического восстановления пентаоксида тантала.

Были поставлены следующие задачи:

- провести литературный обзор существующих методов получения порошкообразного тантала;
- составить технологическую и аппаратурно-технологическую схемы процесса магнийтермического восстановления пентаоксида тантала;
- провести материальный и тепловой расчеты основных стадий магнийтермической технологии;
- на основе рассчитанных материальных потоков подобрать основное и вспомогательное оборудование для составления плана цеха;
- провести аппаратурный расчет основного аппарата;
- произвести подбор персонала, необходимого для осуществления процесса магнийтермического восстановления;
- ознакомиться с основными пунктами социальной ответственности;
- составить функциональную схему системы автоматического регулирования для цеха магнийтермического восстановления пентаоксида тантала.

## 1 Обзор литературы

По распространенности в природе тантал находится на 54 месте среди других элементов. Самые крупные танталовые месторождения находятся в Египте, Франции, Таиланде, Китае и Австралии [3].

Основной переработкой танталсодержащего сырья и производством чистого тантала в настоящее время занимаются компании Starck (Германия) и Cabot (США), на их долю приходится около 80% мирового рынка [4].

Малое содержание тантала в природе привело к повышению цен на его сырье. За последние два года цена на пентаоксид тантала возросла до 200 \$/кг  $Ta_2O_5$  [4].

Россия имеет значительные запасы тантала, но доля от мирового производства невелика. Например, до 4 % от мирового производства приходится на Соликамский магниевый завод из лопаритового концентрата, который выпускает около 35 тонн оксида тантала. Производство металлического тантала в России отсутствует [4].

Тантал по своей природе обладает высокой коррозионной стойкостью в кислотах и других средах, высокой теплопроводностью и пластичностью. Данные свойства способствуют применению тантала, как конструкционного материала для аппаратуры в химическом производстве, так и в производстве твердых и жаропрочных сплавов. Из тантала изготавливают подогреватели, облицовку аппаратов, мешалки, карманы для термопар и другие детали [1].

Основной спрос производимого тантала приходится на металлический порошок конденсаторного сорта. Из танталового порошка изготавливают элементы конденсаторов в виде тонкой фольги или пористых пластинок, предварительно подверженных прессовке. Причиной использования порошкообразного тантала при изготовлении электролитических конденсаторов и выпрямителей тока является способность тантала к образованию устойчивой окисной пленки при анодном окислении. Окисная пленка устойчива к кислотам

электролитам и пропускает ток только в направлении от электролита к металлу [1].

Миниатюрные танталовые конденсаторы широко используются в аэрокосмическом приборостроении, автомобильной электронике, передаточных радиостанциях, радарных установках, электронно-счетных и других устройствах. В отличие от других видов конденсаторов, устройства из танталового порошка обладают большей емкостью на единицу объема, широким диапазоном рабочих температур, высокой степенью надежности, длительными сроками сохранности (до 25 лет) и эксплуатации (до 150000 часов) [5].

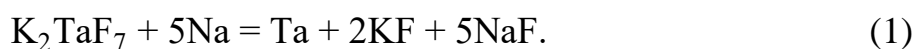
## **1.1 Получение порошкообразного тантала**

В связи с высокой температурой плавления (3000 °С) тантал выделяют в форме порошка по следующим способам [2]:

- натриетермический способ;
- электрохимический метод;
- восстановление пентахлорида тантала;
- восстановление пентаоксида тантала.

### **1.1.1 Натриетермический способ производства порошка тантала**

Натриетермическое восстановление фторотанталата калия протекает по следующей реакции [1]:



Данный процесс является одним из первых исследованных и освоенных промышленных способов получения тантала. Он протекает за счет невысокой химической прочности комплексных фторидов [6].

В силу своих химических свойств и сродству к фтору наиболее пригодными восстановителями являются натрий, кальций и магний. При применении натрия в качестве восстановителя образуется фторид натрия,

который растворим в воде и в дальнейшем может быть отделен с помощью отмывки. Данное свойство является преимуществом для натрия перед кальцием и магнием, так как фториды этих металлов малорастворимы в воде и кислотах [1].

Процесс восстановления протекает с выделением большого количества тепла, достаточного для его самопроизвольного протекания. Поэтому нагрев шихты осуществляется в диапазоне температур от 450 до 500 °С газовой горелкой через стенку тигля в определенном месте. Далее нагрев шихты самопроизвольно распространяется по всему объему и температура процесса варьируется от 800 до 900 °С. Время процесса не превышает двух минут, что обусловлено расплавлением натрия, его частичным растворением в расплаве солей и образованием его паров. Также парообразное состояние натрия обеспечивает хороший контакт кристаллов фторотанталата калия с натрием до момента расплавления шихты. В данном случае получается более крупнозернистый порошок с меньшим содержанием кислорода и большим извлечением в отмытый продукт [6; 1].

Восстановление ведут в стальном тигле с негерметичной крышкой, куда послойно загружают фторотанталат калия и нарезанные кусочки натрия с избытком около 120 % от стехиометрически необходимого. Сверху шихту засыпают слоем хлористого натрия. Образующийся при разогреве жидкий солевой расплав фторидов калия и натрия и хлористого натрия защищает от окисления и нитрирования частицы порошка тантала при попадании воздуха в тигель. Это позволяет проводить процесс без использования инертных газов и вакуума [1].

Соли и тигель перед загрузкой высушивают, так как пары воды реагируют с натрием с выделением водорода, который может образовать с воздухом взрывчатую смесь [1].

Получающийся металлический тантал вкраплен в виде мелких частиц порошка в солевой шлак, который содержит избыточный натрий. После остывания отделяют верхнюю часть шлака, измельчают основную массу,



содержащую тантал, до мелких кусочков, которые загружают небольшими порциями при перемешивании в реактор с холодной водой. При этом избыток металлического натрия постепенно взаимодействует с водой с образованием щелочи и выделением водорода. После растворения большей части солей водой порошок тантала промывают разбавленной соляной кислотой для более полной отмывки остатков щелочных солей, щелочи и растворения примеси железа и некоторой части титана. Выход тантала составляет около 90 % [1].

Для улучшения процесса восстановления и получения более чистого порошкообразного тантала с минимальным содержанием кислорода существует промышленный метод восстановления. В данном случае подогрев шихты осуществляется до 250 °С. После достижения этой температуры печь заполняют инертным газом и продолжают нагрев до 500 °С [7].

Натриетермический способ прост в оформлении и не требует больших затрат на оборудование, что является его преимуществом.

Главный недостаток процесса – большие затраты восстановителя.

### **1.1.2 Электрохимический метод**

Электролитический способ получения тантала заключается в пропускании электрического тока через расплав электролита. Основой электролита служит расплав солей  $K_2TaF_7 - KF - KCl$ , в котором растворен  $Ta_2O_5$ . Применение электролита, содержащего лишь одну соль –  $K_2TaF_7$ , практически невозможно вследствие непрерывного анодного эффекта при использовании графитового анода. Недостаток этого электролита – накопление в нем в процессе электролиза фтористых солей, что приводит к снижению критической плотности тока и требует корректировки состава ванны. Этот недостаток устраняется введением в электролит  $Ta_2O_5$ . Результатом электролиза в этом случае является электролитическое разложение оксида тантала с выделением на катоде тантала, а на аноде кислорода, реагирующего с графитом анода с образованием  $CO_2$  и  $CO$ . Кроме того, введение в солевой

расплав  $Ta_2O_5$  улучшает смачивание расплавом графитового анода и повышает величину критической плотности тока [8].

Полученный порошок после водной отмывки и размола обрабатывают смесью азотной и соляной кислот при кипячении для удаления примесей металлов. После чего проводят обработку смесью азотной и серной кислот при кипячении до прекращения выделения паров  $SO_3$ , для удаления остатков углерода [6].

На основе данных о влиянии состава электролита на показатели электролиза (критическую плотность тока, выход по току, извлечение, качество танталового порошка) был предложен следующий оптимальный состав электролита: 12,5 % (по массе)  $K_2TaF_7$ , остальное  $KCl$  и  $KF$  в отношении 2:1 (по массе). Концентрация вводимого  $Ta_2O_5$  2,5 – 3,5 % (по массе). Электролизер представляет собой ванну из никеля (сплав никель – хром), в центре которой расположен полый графитовый анод. В результате проведения процесса выход тантала варьируется от 87 до 93 % [8].

Электролизеры по своей структуре отличаются сложностью конструирования и при поломке требуют значительных капитальных затрат на ремонт. Однако при увеличении масштабов производства капитальные затраты на электрооборудование оправдывают себя [9].

Главным преимуществом данного метода служит высокое качество получаемого порошка тантала. Его крупнозернистая структура объясняется меньшим содержанием примесей окислов и водорода, что упрощает дальнейшую переработку порошка до готового продукта и снижает количество отходов при переработке [9].

### **1.1.3 Восстановление пентахлорида тантала**

В процессе восстановления пентахлорида тантала водородом продуктом реакции является высокочистый металл. В качестве оборудования используют различные варианты: молибденовые контейнеры, наполненные хлоридом,

продвигаемые вдоль трубчатой печи в токе водорода, в кипящем слое, с нанесением компактных покрытий из тантала и его сплавов [1].

В основе процесса лежит следующая реакция [2]:



Для обеспечения приемлемой степени превращения необходим значительный избыток водорода и проведение процесса при температуре 1230 °С [1].

Восстановление  $\text{TaCl}_5$  проводится с использованием низкотемпературной плазмы в струе нагретого водорода на плазменно-дуговой установке. Процесс проводится в интервале температур от 2500 до 3150 °С. Подача пентахлорида в систему осуществляется со скоростью от 1 до 10 г/мин. Для полноты проведения процесса необходимо подавать водород со значительным избытком по отношению к стехиометрическому количеству [2].

Порошки, полученные данным способом, подвержены значительному окислению вследствие повышенной химической активности, обусловленной высокой дефектностью кристаллической решетки частиц. Также требуется специальное оборудование для получения низкотемпературной плазмы и утилизации хлористого водорода, образующегося при восстановлении [2].

Известен способ получения танталового порошка, путем восстановления пентахлорида тантала гидридом магния в инертной атмосфере [7].

Процесс осуществляется в атмосфере аргона в течение нескольких минут при температурном интервале от 850 до 900 °С. Загруженная смесь хлорида тантала и гидрида магния поджигается электрическим током для запуска реакции. В ходе процесса проводится стадия вакуумирования с целью удаления хлорида водорода. По окончании восстановления шихту охлаждают и отправляют на стадию промывки раствором серной кислоты с перекисью водорода. Далее полученный порошок отфильтровывают, промывают водой от кислоты и сушат при температуре 45 °С. Удельная поверхность готового

танталового порошка варьируется от 2 до 6 м<sup>2</sup> /г, размер кристаллитов от 50 до 300 нм и величина частиц до 10 мкм [7].

Несмотря на фракционный и химический состав полученного танталового порошка методом восстановления пентахлорида тантала, который удовлетворяет предъявляемым требованиям для дальнейшего изготовления из него конструкционных изделий и танталовых конденсаторов, существуют некоторые недостатки. Например, использование гигроскопичного хлорида тантала в качестве исходной соли, неуправляемость процессом восстановления с момента его активации, существенные потери тантала при гидрометаллургической переработке реакционной массы, необходимость утилизации стоков [10].

#### **1.1.4 Восстановление пентаоксида тантала**

Известен способ кальциетермического восстановления Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в расплаве хлорида кальция по следующей реакции [2]:



Большой экзотермический эффект процесса при температуре 950 °С составляет 1196 кДж·моль<sup>-1</sup>, за счет которого протекает спекание металлических частиц. В спечённых агломератах часто содержится оксид кальция в виде прослойки, которая препятствует доступу кальция к Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, что приводит к неполному восстановлению. Данную проблему, позволяет устранить добавка к реагентам хлорида кальция, в котором при температуре 950 °С растворяется несколько мольных процентов кальция и приблизительно 20 мольных процентов оксида кальция, причём Ca, CaO и CaCl<sub>2</sub> не вступают во взаимодействие с танталом. Таким образом, обеспечивается контакт между восстановителем и исходным пентаоксидом, а оксид кальция, удаляется из зоны реакции в расплав [2].

Для проведения процесса используется гранулированный Ca (99,8 %), обезвоженный порошок CaCl<sub>2</sub> (99,9 %) и порошок Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (99,9 %). Исходные

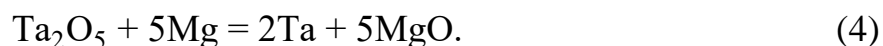
материалы загружаются в танталовый тигель с последующим нагревом в атмосфере аргона. После восстановления реакционную массу обрабатывают дистиллированной водой и разбавленной соляной кислотой для удаления  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaO}$  и остаточного кальция [2].

Из недостатков данного способа стоит отметить применение большого избытка восстановителя, так как процесс проводится при мольном отношении  $\text{Ta}_2\text{O}_5 : \text{Ca} : \text{CaCl}_2 = 1 : 10 : 150$ , что соответствует избытку кальция 100 % по отношению к стехиометрии реакции [2].

В качестве восстановителя также можно использовать алюминий. Однако готовым продуктом данного процесса является слиток. Для получения порошка тантала слиток необходимо отправить на стадию гидрирования, с дальнейшим измельчением гидрида и последующему дегидрированию в вакууме. Недостатком метода является использование значительного количества восстановителя и многостадийность процесса [7].

Восстановление пентаоксида тантала с использованием в качестве восстановителей кальция и алюминия термодинамически возможно в широкой области температур. Однако для получения танталового порошка с большей удельной поверхностью предпочтительно использовать магний [7].

При восстановлении пентаоксида тантала магнием протекает следующая реакция:



Данный процесс производится в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) за счет выделения большого количества тепла. После локального инициирования взаимодействия в тонком слое исходной смеси реагентов фронт реакции, протекающей в режиме горения, самопроизвольно распространяется по всей системе посредством теплопередачи от горячих продуктов взаимодействия к близлежащим реагентам. При этом термическая активность реакции является достаточной для дальнейшего запуска процесса. Образование продуктов реакции в этом случае является как результатом процесса, так и причиной его дальнейшего развития.

Специфическими особенностями технологий, основанных на использовании СВС, являются высокие температуры и малое время синтеза новых материалов, высокие скорости взаимодействия реагентов, возможность управления процессом и малые энергозатраты; а также чистота получаемых продуктов [2].

В данном случае для регулирования тепла добавлялся оксид магния или хлорид натрия. Исходная смесь перемешивается в шаровой мельнице с шарами из диоксида циркония в течение 24 часов. Затем прессуются цилиндрические таблетки диаметром и высотой от 4 до 5 см. Процесс восстановления осуществляется в атмосфере аргона при давлении 2,5 Мпа. При соотношении реагентов  $Ta_2O_5 : Mg : NaCl = 1 : 5 : 2,5$  температура процесса составляет 1625 °С, а при десяти молекулах магния температура процесса снижается до 950 °С [2].

Продукты восстановления промываются дистиллированной водой для удаления хлорида натрия, затем обрабатываются серной и соляной кислотой для удаления оксида магния, после этого порошок сушится в вакууме при температуре 300 °С. Недостатком способа является необходимость использования оборудования, позволяющего проводить восстановление при большом давлении инертного газа и невозможность полного контролирования параметров процесса [2].

В последнее время широко используется метод восстановления пентаоксида тантала парами магния с целью получения танталового порошка конденсаторного сорта. Данный способ позволяет контролировать параметры процесса, что является его преимуществом. Однако в ходе исследований было выявлено, что пары магния способны конденсироваться на холодном месте по пути его переноса, что приводит к образованию пробок и дальнейшему разрушению аппарата. Для решения данной проблемы было предложено осуществлять загрузку магния в виде стружки или порошка в смеси с пентаоксидом тантала, что позволяет устранить трудности транспортировки парообразного восстанавливающего агента в реакционную зону [11].

Для проведения процесса восстановления магний используют с избытком 10 %. Температура в реакционной зоне не превышает температуру

плавления восстанавливаемого оксида. После проведения процесса реакционную массу охлаждают и отправляют на стадию выщелачивания с целью удаления непрореагировавшего магния и оксида магния из танталового порошка [7].

Преимуществом данного метода является тугоплавкость пентаоксида тантала и образующегося оксида магния и минование жидкой фазы, что способствует образованию более мелкого порошка с большей удельной поверхностью, из которого возможно изготовление конденсаторов с удельным зарядом в диапазоне от 80 тыс. до 150 тыс. мкКл/г [12].

Также данный способ используется для снижения содержания кислорода в конденсаторных порошках тантала по сравнению с другими способами. Как правило, раскислительному восстановлению магнием подвергают порошки после операции высокотемпературного отжига в вакууме, целью которой является придание порошкам требуемых реологических и потребительских свойств. Конденсаторные порошки, подвергнутые магнийтермическому раскислению, по сравнению с порошками, которые не были подвергнуты подобной обработке, обладают более выгодными электрическими характеристиками и механическими свойствами, например, меньшим током утечки, лучшей прессуемостью и т.д. [12].

## **1.2 Обзор существующего аппаратного оформления магнийтермического восстановления**

Для проведения процесса восстановления газообразным магнием можно использовать различные типы оборудования, такие как вертикальная трубчатая печь, вращающаяся печь, печь с кипящим слоем, вертикальная многоподовая печь и реактор СВС [11].

Согласно литературным данным, для проведения процесса магнийтермического восстановления пентаоксида тантала была использована шахтная печь сопротивления (рисунок 1) [5].

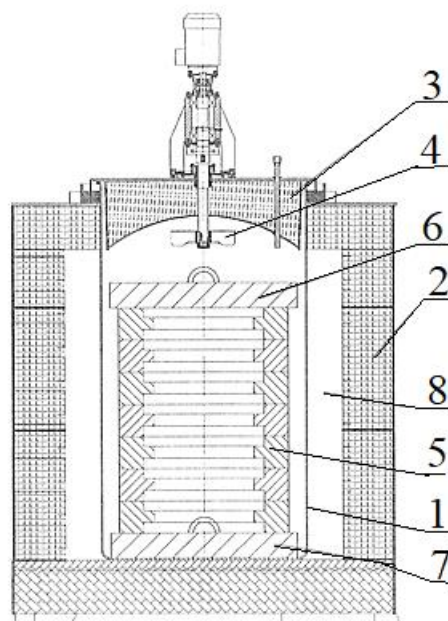


Рисунок 1 – Шахтная печь сопротивления:

- 1 – реторта; 2 – корпус, футерованный огнеупорным материалом; 3 – крышка;  
 4 – вентилятор; 5 – тарелки; 6 – верхняя плита; 7 – нижняя плита;  
 8 – нагревательная камера

Пентаоксид тантала загружается на верхние 20 тарелок. На оставшиеся 4 тарелки помещается восстановитель. Перед началом процесса проводится двукратное вакуумирование и заполнение системы аргоном. После создания в аппарате инертной атмосферы производится нагрев системы до 1000 °С. Время выдержки шихты при рабочей температуре составляет 9 часов. После завершения процесса шихту охлаждают, открывая крышку печи и подавая воздух комнатной температуры с помощью центробежного вентилятора. Далее шихта отправляется на обработку, с целью получения готового танталового порошка [5].

Существует установка магнийтермического восстановления, совмещающая в себе зону испарения и зону восстановления (рисунок 2) [13].

Испаритель и реактор изготовлены из металлического тантала и помещены в горизонтальную герметичную реторту. За счет совмещенных зон испарения и восстановления снижаются потери газа-восстановителя. Как и в предыдущем варианте, в данной системе создается инертная газовая среда с помощью аргона [13].



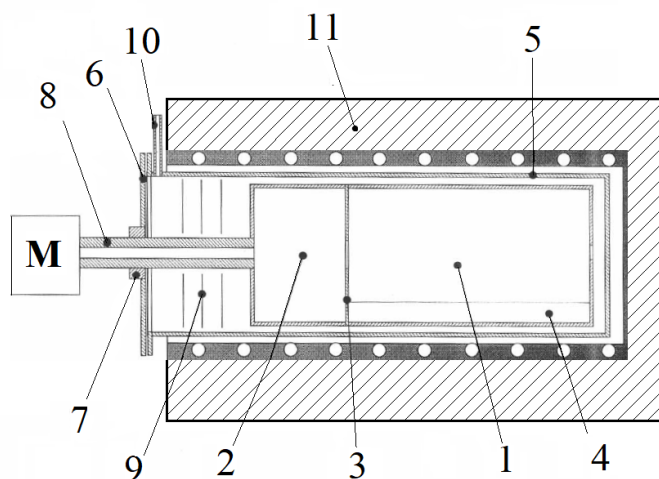


Рисунок 2 – Устройство для магнийтермического восстановления:  
 1 – трубчатый реактор; 2 – испаритель; 3 – перегородка; 4 – ребро; 5 – реторта;  
 6 – крышка; 7 – уплотнение вала; 8 – вал; 9 – тепловой экран; 10 – штуцер для  
 выпуска аргона; 11 – печь

Процесс осуществляется при перемешивании реакционной массы. Ребра реактора способствуют процессу восстановления, за счет пересыпания загруженного реагента по всему объему реактора, в результате чего протекает интенсивное восстановление пентаоксида тантала парами магния. После проведения процесса движение вала прекращают и остужают восстановленный продукт, с последующей выгрузкой и очисткой от оксида магния [13].

Известно устройство реактора, используемого для переработки тугоплавких соединений с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (рисунок 3) [14].

Для проведения процесса в реактор загружают смесь оксида тантала и восстанавливающего агента. К смеси добавляют оксид магния или хлорид натрия для уменьшения температуры реакционной зоны. После чего аппарат герметизируют и создают вакуум подачей аргона. Запуск процесса осуществляется с помощью инициирующего устройства [14].

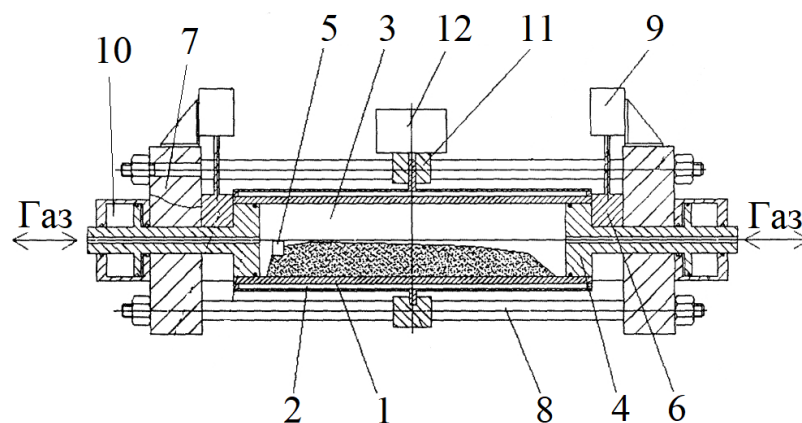


Рисунок 3 – Реактор СВС:

1 – корпус реактора; 2 – рубашка охлаждения; 3 – внутренний объем реактора;  
 4 – грибовый затвор; 5 – иницирующее устройство; 6 – запирающее устройство; 7 – опорные плиты; 8 – колонна; 9, 10 – привод; 11 – кронштейн;  
 12 – привод поворота корпуса

В зарубежных источниках литературы описывается ряд других часто используемых аппаратов для проведения процесса магнийтермического восстановления [15].

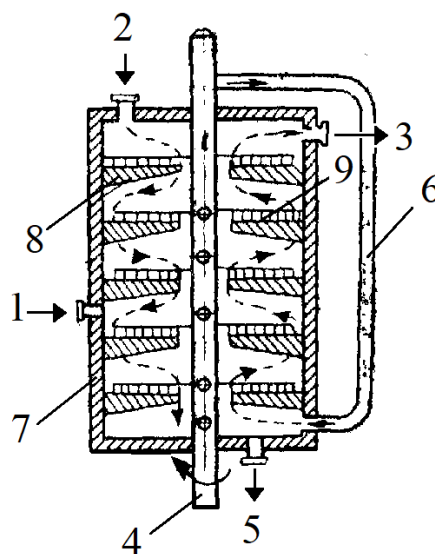


Рисунок 4 – Вертикальная многоподовая печь:

1 – загрузка восстановителя; 2 – загрузка пентаоксида тантала;  
 3 – отработанные газы; 4 – ротор; 5 – готовый порошок; 6 – циркуляция восстановителя; 7 – кожух; 8 – гребни; 9 – лопатки

В вертикальной многоподовой печи подача восстановителя осуществляется сразу в газообразном состоянии. Процесс восстановления осуществляется с помощью движения ротора, который перемешивает

восстановитель и пентаоксид тантала. Нагрев системы осуществляется за счет нагревателей (рисунок 4) [15].

Также с помощью перемешивания процесс восстановления осуществляется во вращающейся печи (рисунок 5). В данной установке подача восстановителя осуществляется в газообразном состоянии вместе с газом-носителем (аргон) [15].

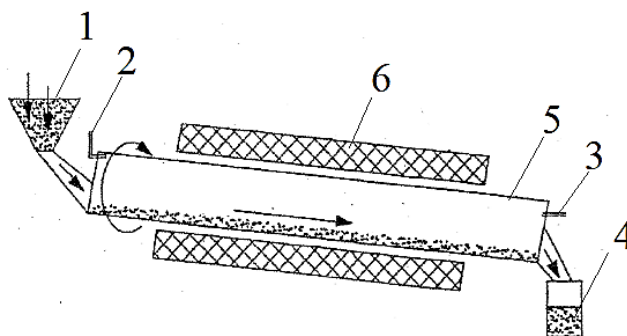


Рисунок 5 – Горизонтальная вращающаяся печь:

1 – загрузка пентаоксида тантала; 2 – загрузка газообразного восстановителя;  
3 – отработанные газы; 4 – выгрузка спека; 5 – корпус печи; 6 – нагреватель

Для проведения более полного восстановления используют установку со взвешенным слоем (рисунок 6).

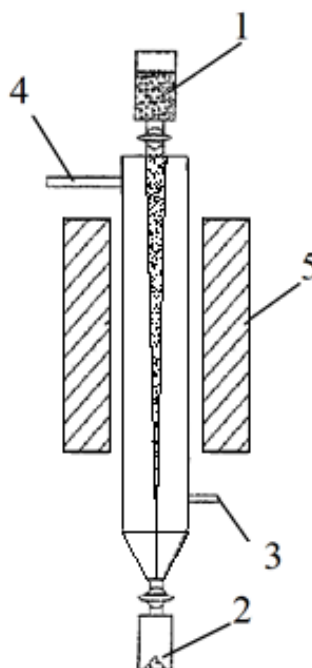


Рисунок 6 – Печь со взвешенным слоем:

1 – подача пентаоксида тантала; 2 – бункер для магния и готового продукта;  
3 – подача аргона; 4 – отработанные газы; 5 – нагреватель

Противоточное движение оксида и восстановителя обеспечивает тщательное перемешивание реагентов. Восстановитель загружается в реактор в виде стружки и уже под действием температуры переходит в газообразное состояние и движется вверх, противотоком оксиду тантала [15].

Для производства порошка конденсаторного сорта при восстановлении пентаоксида тантала магнием в самоподдерживающейся реакционной зоне, создаваемой высокоэкзотермической реакцией с эффективным управлением, используется вертикальная трубчатая печь (рисунок 7) [11].

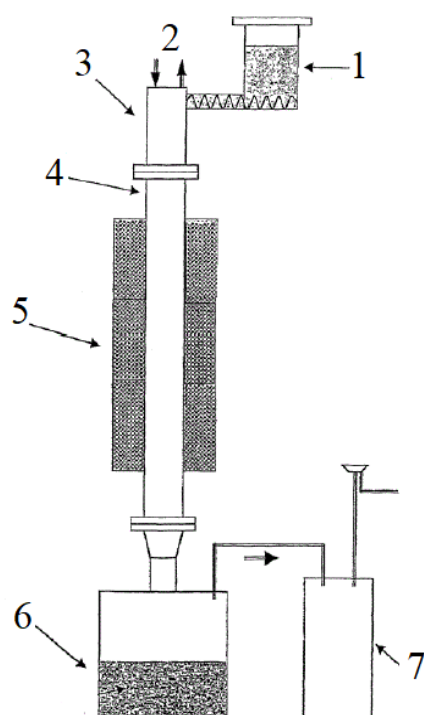


Рисунок 7 – Установка для магнийтермического восстановления:  
1 – оксид тантала; 2 – промывка аргоном; 3 – устройство для диспергирования смеси; 4 – реактор; 5 – печь; 6 – приемное устройство для готового продукта; 7 – ловушка для магния

Процесс в вертикальной трубчатой печи осуществляется с продуванием аргона, который используется в качестве газа-носителя и способствует не только созданию вакуума, но и частичному перемешиванию реакционной массы. Смесь оксида тантала и магния в виде порошка подается винтовым питателем через устройство для диспергирования в реактор, оснащенный электрической печью с тремя зонами обогрева. Температура процесса равна температуре кипения

магния – 1105 °С После протекания самоподдерживающейся реакции, полученный порошок тантала поступает в приемное устройство. С помощью ловушки происходит улавливание непрореагировавшего восстановителя [11].

Аналогично предыдущему процессу можно осуществлять восстановление оксида тантала с подачей магния извне (рисунок 8). Для этого к установке добавляется аппарат для плавления магния. Температура в аппарате плавления составляет 975 °С, тогда как температура в самом реакторе поддерживается около 985 °С, с целью предотвращения конденсации парообразного восстановителя [11].

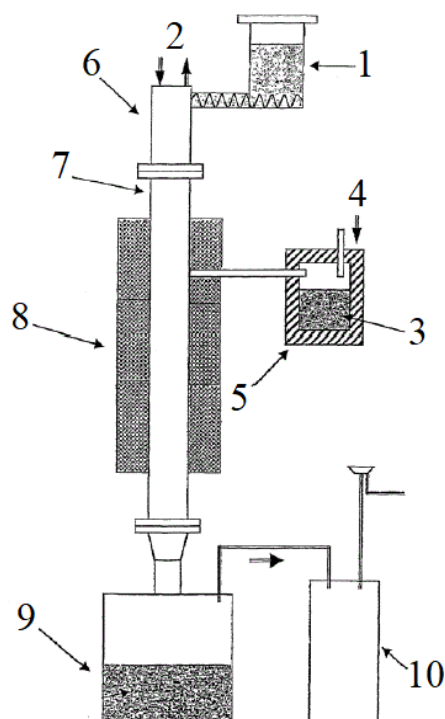


Рисунок 8 – Установка для восстановления  $Ta_2O_5$  парами магния:  
1 – оксид тантала; 2 – промывка аргоном; 3 – магний; 4 – аргон; 5 – аппарат для плавления; 6 – устройство для диспергирования оксида; 7 – реактор; 8 – печь; 9 – приемное устройство для готового продукта; 10 – ловушка для магния

Вертикальная трубчатая печь имеет ряд преимуществ перед возможными типами оборудования для проведения процесса магнийтермии. Вертикальное расположение аппарата обеспечивает минимальный контакт реакционной массы с его стенками, что способствует свободному потоку веществ. Также данное расположение улучшает процесс взаимодействия оксида и восстанавливающего

агента для достижения скорости реакции, которая необходима для установления стабильной самоподдерживающейся реакции [11].

### **Вывод по главе**

Около 70 % производимого тантала приходится на изготовление электролитических конденсаторов, обладающих высоким удельным зарядом. В мире основными производителями танталового порошка конденсаторного сорта являются Германия и США.

Из рассмотренных способов получения порошкообразного тантала наиболее подходящим считается магнийтермическое восстановление пентаоксида тантала. Данная технология позволяет получать нанодисперсные порошки с развитой удельной поверхностью при этом затрачивать меньшее количество восстанавливающего реагента по сравнению с другими методами. Избыток восстановителя позволяет контролировать температуру процесса, тем самым предотвращая перегрева системы.

На основе рассмотренных установок для восстановления наиболее подходящей считается вертикальная трубчатая печь, отличающаяся рядом преимуществ и простотой аппаратного оформления.

## 4 План размещения оборудования

Разработка плана оборудования производится для определения габаритных размеров производственного помещения, организации рабочих мест персонала, безопасного ведения технологического процесса и производства ремонтных работ [21].

### 4.1 Подбор основного технологического оборудования

Основные характеристики технологического оборудования цеха представлены в таблице Б.1 (приложение Б).

### 4.2 Расчет геометрии и габаритов оборудования

Геометрические размеры технологического оборудования представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Габаритные размеры основного и вспомогательного оборудования

№	Оборудование	Габаритные размеры, мм
1	Аппарат восстановления, Chongqing (China), CLHS	$h = 2400, d = 250$
2	Реактор с мешалкой для выщелачивания, Guangzhou or Shenzhen, Hhmm	$h = 500, d = 400$
3	Реактор с мешалкой для нейтрализации, Guangzhou or Shenzhen, Hhmm	$h = 800, d = 600$
4	Ленточный фильтр, Packaging & Delivery, DY 2000	$l = 1500, h = 1000, b = 500$
5	Барабанно-вращающаяся печь, ОАО «Волгоцеммаш» С – 0,15	$l = 1000, d = 400$
6	Шнековый транспортер, Завод Техприборов, X-III 160 110	$l = 450, h = 100, b = 140$
7	Ленточный транспортер, Завод Техприборов, ЛК - 400	$l = 2000, h = 350, b = 400$
8	Конденсатор кожухотрубный, ONDA, СТ 10	$h = 600, d = 150$

Продолжение таблицы 13

9	Абсорбер, НПП "Машины и аппараты химических технологий"	$h = 900, d = 200$
10	Чиллер, Dantex, DN-05-16CV/(S)A	$l = 1000, h = 990,$ $b = 650$
11	Накопительная приемная емкость, «Полиюнион»	$l = 800, d = 500$
12	Разгрузочный и приемный бункер, ООО «ТехМаш», DWD	$l = 500, h = 700,$ $b = 500$
13	Разгрузочный и приемный бункер, ООО «ТехМаш», DWD	$l = 300, h = 700,$ $b = 300$
14	Разгрузочный и приемный бункер, ООО «ТехМаш», БСМ 6	$l = 300, h = 700,$ $b = 300$
15	Приемный бункер, ООО «ТехМаш», БСМ 8.5	$l = 300, h = 700,$ $b = 300$
16	Насос вакуумный, ОАО «ГМС Насосы», ВВН1 – 1,5	$l = 450, h = 350,$ $b = 230$
17	Насос горизонтальный центробежный, ОАО «ГМС Насосы», КМ 100-65-200	$l = 1000, h = 420,$ $b = 400$
18	Насос центробежный лопастной, ОАО «ГМС Насосы», ХМ 32-20-125-М	$l = 500, h = 620,$ $b = 300$

Определение габаритных размеров оборудования позволяет спроектировать цех и определить оптимальное расположение оборудования в производственном помещении.

### 4.3 Энергетический расчет технологической схемы

В таблице 14 представлены данные о потребляемой мощности приводными устройствами оборудования и напряжении сети питания.

Таблица 14 – Характеристики приводов технологического оборудования

№	Оборудование	Характеристики
1	Аппарат восстановления, Chongqing (China), CLHS	Мощность ТЭНов 1,5 кВт, напряжение сети питания 220 В
2	Реактор с мешалкой для выщелачивания, Guangzhou or Shenzhen, Hhmm	Мощность привода до 10 кВт; скорость вращения мешалки 500 об/мин; напряжение сети питателя 380 В
3	Реактор с мешалкой для нейтрализации, Guangzhou or Shenzhen, Hhmm	Мощность привода до 10 кВт; скорость вращения мешалки 500 об/мин; напряжение сети питателя 380 В



Продолжение таблицы 14

4	Ленточный фильтр, Packaging & Delivery, Toper	Мощность двигателя 2,2 кВт; напряжение сети питателя 220 В; скорость движения ленты 0,05 м/мин
5	Барабанно-вращающаяся печь, ОАО «Волгоцеммаш» С – 0,15	Мощность двигателя 0,25 кВт; напряжение сети питателя 220 В; скорость движения барабана 1 об/мин
6	Шнековый транспортер, Завод Техприборов, Х-Ш 160 110	Мощность привода до 1,5 кВт; скорость вращения вала шнека 15 об/мин; напряжение сети питателя 220 В
7	Ленточный транспортер, Завод Техприборов, ЛК - 400	Мощность привода до 2,2 кВт; скорость ленты 1 м/мин; напряжение сети питателя 220 В
8	Чиллер, Dantex, DN-05-16CV/(S)A	Потребляемая мощность в режиме охлаждения 1,55 кВт, напряжение сети питателя 380 В
9	Насос вакуумный, ОАО «ГМС Насосы», ВВН1 – 1,5	Мощность 1,5 кВт; питание 220 В
10	Насос горизонтальный центробежный, ОАО «ГМС Насосы», КМ 100-65-200	Мощность 2,2 кВт; питание 220 В
11	Насос центробежный лопастной, ОАО «ГМС Насосы», ХМ 32-20-125-М	Мощность 1,5 кВт на 2900 об/мин; питание 220 В

Энергетический расчет технологической схемы позволяет определить количество потребляемой мощности приводными устройствами и затраты на технологическую электроэнергию.

#### 4.4 План размещения оборудования

На основе технологии магнийтермического восстановления пентаоксида тантала было подобрано технологическое оборудование, установлены основные габаритные размеры и спроектирован план цеха ДП ФЮРА 065452.000 ПЦ.

Цех магнийтермического восстановления имеет следующие параметры: несущая конструкция – каркас ЛМК (легкие металлические конструкции),

длиной 18 метров, шириной 12 метров и высотой 4 метра. Производственная площадь составляет 216 м<sup>2</sup>. Полный объем цеха составляет 864 м<sup>3</sup>.

Несущие стены и кровля цеха изготовлены из железобетонных плит толщиной 200 мм. Межкомнатные стены изготовлены из ячеистого бетона в соответствии с ГОСТ 31360-2007, толщиной 100 мм.

В складских помещениях, рабочей зоне и на участке магнийтермического восстановления установлены пять окон размерами 1500 × 1300 мм и одно окно с размерами 2500 × 1400 мм в операторской комнате.

Для удобства завоза химических реагентов и вывоз готовой продукции предусмотрены раздвижные ворота в количестве двух штук с размерами 3000 × 3500 мм. Ворота складского типа, предусмотрено утепление в зимний период. В случае превышения ПДК вредных веществ могут использоваться для естественной циркуляции воздуха при открытии. В цехе предусмотрены металлические двери в количестве двух штук размерами 900 × 2000 мм.

#### **Вывод по главе 4**

В четвертой главе был осуществлен подбор основного и вспомогательного оборудования в соответствии с рассчитанными материальными потоками процесса магнийтермического восстановления. Установлены габаритные размеры и выявлены основные характеристики оборудования. Относительно габаритных размеров был спроектирован цех, показывающий расположение оборудования в соответствии с ГОСТ 12.3.002-75.

Цех магнийтермического восстановления имеет следующие параметры: несущая конструкция – каркас ЛМК (легкие металлические конструкции), длиной 18 метров, шириной 12 метров и высотой 4 метра. Производственная площадь составляет 216 м<sup>2</sup>. Полный объем цеха составляет 864 м<sup>3</sup>.

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является определение перспективности и успешности проведения процесса магнийтермического восстановления пентаоксида тантала путем проведения экономического расчета основных экономических показателей [22].

### 5.1 SWOT – анализ

SWOT – анализ включает в себя описание сильных и слабых сторон рассматриваемой технологии, выявление возможностей и угроз для реализации процесса с последующим выявлением соответствий рассмотренных критериев (таблица В.1, приложение В) [22].

### 5.2 Расчет численности рабочих

Режим работы цеха магнийтермического восстановления пентаоксида тантала непрерывный, без выходных и праздничных дней. Работы в цеху осуществляются в две смены продолжительностью 12 часов четырьмя производственными бригадами (таблица 15).

Таблица 15 – График сменности

Часы работы	Дни месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
07:00 – 19:00	А	А	А	В	В	В	Б	Б	Б	Г	Г	Г
19:00 – 07:00	Б	Б	Б	Г	Г	Г	А	А	А	В	В	В
Выходные дни	В	В	В	А	А	А	Г	Г	Г	Б	Б	Б
	Г	Г	Г	Б	Б	Б	В	В	В	А	А	А

Рассчитаем длительность сменоборота [22]:

$$T_{с.об.} = n_j \cdot T_c, \quad (42)$$

где  $T_{с.об.}$  – длительность сменоборота, дни;

$n_j$  – число бригад;

$T_c$  – количество дней, в которые бригада ходит в смену (3 дня).

$$T_{с.об.} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ дней.}$$

Согласно составленному графику сменности бригад, была определена длительность сменоборота бригад, которая составила 12 дней. Календарное число дней составляет 365 дней, из них бригада отдыхает 183 дня. Количество ночных смен составляет 91 смену. Для определения фонда рабочего времени был составлен баланс, представленный в таблице 16.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени среднесписочного рабочего

№	Показатель	Дни	Часы
1	Календарное число дней	365	8760
2	Нерабочие дни, выходные	183	4392
3	Номинальный фонд рабочего времени	182	4368
4	Планируемые выходные:		
	А) очередные и дополнительные отпуска	25	600
	Б) по болезни	4	56
	В) выполнение общественных обязанностей	2	48
	Г) отпуск в связи с учебой	10	240
	Итого	41	984
5	Эффективный фонд рабочего времени	141	3384

Основная численность рабочего персонала складывается из количества оборудования, за которым необходимо производить наблюдения, из объема выпускаемой продукции и количества технологических операций.

Расчет явочной численности рабочих:

$$N_{явочн.} = \frac{1}{N_{ап.}} \cdot N \cdot C, \quad (43)$$

где  $N_{явочн.}$  – явочная суточная численность рабочих, чел.;

$N_{ап.}$  – число аппаратов, подлежащих обслуживанию одним рабочим, штук;

$N$  – количество установок, штук;

$C$  – количество смен в сутки, штук.

$$N_{явочн.} = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 2 = 6 \text{ чел.}$$

Рассчитанное количество рабочих позволяет вести технологический процесс в связи с высоким уровнем автоматизации.

Определим списочное число основного персонала [22]:

$$N_{\text{сп.}} = N_{\text{яв.}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб}}}, \quad (44)$$

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.

$$N_{\text{сп.}} = 6 \cdot \frac{300}{141} = 12 \text{ чел.}$$

Определяем категорию работников обслуживающего персонала, включающий в себя дежурного механика, дежурного электрика, дежурного КИПиА.

$$N_{\text{явочн.}} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{сп.}} = 6 \cdot \frac{300}{141} = 12 \text{ чел.}$$

Инженерно-технические работники включают в себя начальника цеха, старшего технолога и мастера смены. Расчет численности ИТР производится без учета начальника и мастера, так как они работают в течение пяти дней в одну смену:

$$N_{\text{явочн.}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{сп.}} = 2 \cdot \frac{300}{141} = 4 \text{ чел.}$$

Суммарное количество рабочего персонала представлено в таблице 17.

Таблица 17 – Суммарное количество рабочего персонала, ИТР и вспомогательных рабочих

№	Наименование профессии	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$N_{\text{яв.}}$ , в сутки	$N_{\text{сп.}}$ , в сутки
1	Аппаратчик	3	2	6	12
3	Начальник цеха	1	1	1	1
4	Старший технолог	1	1	1	1

Продолжение таблицы 17

5	Мастер смены	1	2	2	4
6	Дежурный механик	1	2	2	4
7	Дежурный электрик	1	2	2	4
8	Дежурный КИПиА	1	2	2	4
Итого		9	-	16	30

Согласно данным таблицы 17, для осуществления процесса магнийтермического восстановления необходимое количество рабочего персонала в одну смену составляет 9 человек.

### 5.3 Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих цеха

Фонд заработной платы основных рабочих является суммой основной и дополнительной заработной платы.

Рассчитаем основной фонд ЗП [22]:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар.}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{пр.}} + D_{\text{пр.д.}} + D_{\text{вред.}}, \quad (45)$$

где  $Z_{\text{тар.}}$  – тарифный фонд;

$D_{\text{н.вр.}}$  – доплаты за ночные смены, руб;

$D_{\text{пр.}}$  – доплаты премий, руб;

$D_{\text{пр.д.}}$  – доплата за работу в праздники, руб;

$D_{\text{вред.}}$  – доплата за вредность, руб.

Расчет тарифного фонда заработной платы осуществляется относительно тарифных ставок, исходя из отработанного времени:

$$Z_{\text{тар.}}^i = N_{\text{сп.}}^i \cdot T_{\text{эф.раб.}} \cdot T_{\text{ст.}}^i, \quad (46)$$

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

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

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

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

Цех магнийтермического восстановления пентаоксида тантала оснащен аппаратчиками 5-ой квалификации, тарифная ставка которых составляют 140 рублей, тогда тарифный фонд ЗП рабочих 5-ой квалификации составит:

$$З_{\text{тар.}}^5 = 12 \cdot 1692 \cdot 140 = 2842560 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время согласно Трудовому Кодексу РФ составляет 40 % от тарифной ЗП и определяется по формуле:

$$Д_{\text{н.вр.}} = Н_{\text{сп}} \cdot n_{\text{н.с.}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{см}} \cdot П, \quad (47)$$

где  $n_{\text{н.с.}}$  – количество ночных смен;

$t_{\text{см}}$  – время смены, ч;

$П$  – процент отчисления.

$$Д_{\text{н.вр.}} = 12 \cdot 91 \cdot 12 \cdot 140 \cdot 0,4 = 733824 \text{ руб./год.}$$

Доплата за работу в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам по следующей формуле [22]:

$$Д_{\text{пр.дн.}} = Н_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{см}} \cdot П, \quad (48)$$

где  $N$  – число праздничных дней в году. Примем, что в году 10 праздничных дней.

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 12 \cdot 9 \cdot 12 \cdot 140 \cdot 1 = 181440 \text{ руб./год.}$$

Доплата премий устанавливается согласно ТК РФ и принимается 30 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{пр.}} = З_{\text{тар.}}^5 \cdot П, \quad (49)$$

$$Д_{\text{пр.}} = 2842560 \cdot 0,3 = 852768 \text{ руб./год.}$$

Согласна технологическим особенностям процесса магнийтермического восстановления доплату за вредность производства принимаем 5 % от тарифной ЗП:

$$Д_{\text{вред.}} = 2842560 \cdot 0,05 = 142128 \text{ руб./год.}$$

Суммируя составляющие основного фонда получим следующее значение основного фонда заработной платы (ЗП):

$$З_{\text{осн.}} = 2842560 + 733824 + 181440 + 852768 + 142128 = 4752720 \text{ руб./год.}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле [22]:

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп.}}, \quad (50)$$

где  $P_{д.зп.}$  – процент доплаты, равный 10 %.

$$Z_{доп.} = 4752720 \cdot 0,1 = 475272 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, расчетный годовой фонд ЗП будет равен:

$$Z_{год.} = 4752720 + 475272 = 5227992 \text{ руб./год.}$$

Заработная плата основного рабочего составляет 36306 руб.

#### **5.4 Расчет годового фонда заработной платы ИТР и вспомогательных работников цеха**

Расчет тарифного фонда оплаты осуществляется по формуле [22]:

$$Z_{тар.} = P_{мес.} \cdot T_{окл.}, \quad (51)$$

где  $Z_{тар.}$  – тарифный фонд ЗП, руб./год;

$P_{мес.}$  – число месяцев, отработанных в год каждым работником (11 месяцев);

$T_{окл.}$  – штатный месячный оклад, руб.

Расчет тарифного фонда заработной платы для вспомогательных рабочих осуществляется аналогично расчету для основного персонала.

Состав ИТР и вспомогательного персонала приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Состав ИТР и вспомогательного персонала

№	Должность	Месячный оклад, руб
1	Начальник цеха	120000
2	Старший технолог отделения	84000
3	Мастер смены	66000
4	Дежурный механик	20000
5	Дежурный электрик	20000
6	Дежурный КИПиА	20000

Расчет основной ЗП служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле [22]:

$$Z_{осн.} = Z_{тар.} + D_{пр.дн.} + D_{вред.}, \quad (52)$$

$$D_{пр.дн.} = (T_{окл.} / 20,25) \cdot N \cdot N_{явочн.}, \quad (53)$$

где  $T_{окл.}$  – месячный оклад, руб.;



$N$  – количество праздничных дней в году;

20,25 – среднемесячное число рабочих дней.

Дополнительная заработная плата ИТР и вспомогательного персонала принимается 10 % от  $Z_{\text{тар.}}$ .

Расчет годового фонда ЗП для начальника цеха, работающего пять дней в неделю:

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 100000 = 1100000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 1100000 \cdot 0,05 = 55000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (100000 / 20,25) \cdot 10 \cdot 1 = 49382 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 1100000 + 55000 + 49382 = 1204382 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 1204382 \cdot 0,1 = 120438 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 1204382 + 120438 = 1324820 \text{ руб./год.}$$

Расчет годового фонда ЗП для старшего технолога отделения, работающего пять дней в неделю:

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 70000 = 770000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 770000 \cdot 0,05 = 38500 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (70000 / 20,25) \cdot 10 \cdot 1 = 34567 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 770000 + 38500 + 34567 = 843068 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 843068 \cdot 0,1 = 84307 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 843068 + 84307 = 927375 \text{ руб./год.}$$

Расчет годового фонда ЗП для мастера смены:

$$Z_{\text{тар.}} = 11 \cdot 55000 \cdot 4 = 2420000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{вред.}} = 2420000 \cdot 0,05 = 121000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{\text{пр.дн.}} = (55000 / 20,25) \cdot 10 \cdot 4 = 108642 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 2420000 + 121000 + 108642 = 2649642 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{доп.}} = 2649642 \cdot 0,1 = 264964 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{\text{год.}} = 2649642 + 264964 = 2914606 \text{ руб./год.}$$

Расчет годового фонда ЗП для вспомогательного персонала, тарифная ставка которого составляет 100 руб./ч.

$$Z_{\text{тар.}}^5 = 12 \cdot 1692 \cdot 100 = 2030400 \text{ руб./год,}$$

$$D_{н.вр.} = 12 \cdot 91 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,4 = 524160 \text{ руб./год,}$$

$$D_{пр.дн.} = 12 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 100 = 144000 \text{ руб./год,}$$

$$D_{пр.} = 2030400 \cdot 0,3 = 609120 \text{ руб./год,}$$

$$D_{вред.} = 2030400 \cdot 0,05 = 101520 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{осн.} = 2030400 + 524160 + 144000 + 609120 + 101520 = 3409200 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{доп.} = 3409200 \cdot 0,1 = 340920 \text{ руб./год,}$$

$$Z_{год.} = 3409200 + 340920 = 3750120 \text{ руб./год.}$$

Так как вспомогательные рабочие могут работать не только в рассматриваемом цеху, то для них ЗП вычисляется с учетом коэффициента полезного участия, принятым 0,3.

$$Z_{год.} = 3750120 \cdot 0,3 = 1125036 \text{ руб./год.}$$

Полный годовой фонд ЗП составляет:

$$\Phi_{зп} = 5227992 + 1324820 + 927375 + 2914606 + 1125036 = 11519829 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды составляют 30 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{соц.} = 11519829 \cdot 0,3 = 3455948 \text{ руб./год.}$$

## 5.5 Расчет капитальных затрат

Цех магнийтермического восстановления пентаоксида тантала имеет следующие габаритные размеры: длина 18 м, ширина 12 м, высотой 4 метра. Производственная площадь 216 м<sup>2</sup>. Объем здания 864 м<sup>3</sup>.

Рассчитаем стоимость здания по следующей формуле [22]:

$$C = C_{1м^3} \cdot V_{зд.}, \quad (54)$$

где  $C_{1м^3}$  – стоимость затрат на постройку 1 м<sup>3</sup> здания, руб.;

$V_{зд.}$  – объем здания, м<sup>3</sup>.

Материал для построения цеха железобетонные плиты. Стоимость 1 м<sup>3</sup> данного материала составляет 2000 рублей. Тогда стоимость здания:

$$C = 2000 \cdot 864 = 1728000 \text{ руб.}$$

В таблице 19 приведены денежные затраты на санитарно-технические работы с учетом процента от затрат на постройку здания.

Таблица 19 – Затраты на санитарно-технические работы

Санитарно-технические работы	% от затрат на постройку здания	Цена, руб
Отопление	5	86400
Вентиляция	5	86400
Водопровод	3	51840
Канализация	3	51840
Освещение	2	34560
Итого	18	311040

Тогда общая стоимость здания примет следующее значение:

$$C_{зд.} = C + C_{с.р.}, \quad (55)$$

$$C_{зд.} = 1728000 + 311040 = 2039040 \text{ руб.}$$

Расчеты капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования представлены в таблицах 20, 21.

Таблица 20 – Стоимость основного оборудования

№	Оборудование	Количество единиц	Цена за штуку, руб.	Цена, руб.
1	Аппарат восстановления	2	180000	360000
2	Реактор с мешалкой для выщелачивания	1	116000	116000
3	Реактор с мешалкой для нейтрализации	1	350000	350000
4	Ленточный фильтр	1	163400	163400
5	Барабанно-вращающаяся печь	1	150000	150000
6	Шнековый транспортер	7	11000	77000
7	Ленточный транспортер	1	9000	9000
8	Конденсатор кожухотрубный	1	26800	26800
9	Абсорбер	1	51000	51000
10	Чиллер	1	210000	210000
11	Накопительная приемная емкость (500 л)	16	8000	128000
12	Разгрузочный и приемный бункер (на 500 кг)	1	16000	16000
13	Разгрузочный и приемный бункер (на 50 кг)	4	7000	28000

Продолжение таблицы 20

14	Разгрузочный и приемный бункер (50 кг)	3	5000	15000
15	Насос вакуумный	1	5000	5000
16	Насос горизонтальный центробежный	3	4600	13800
17	Насос центробежный лопастной	2	4450	8900
Итого			1623900	

Таблица 21 – Расходы на накладку и монтаж оборудования

Затраты	% от стоимости оборудования	Цена, руб.
Устройство фундаментов	10	162390
Технологические трубопроводы	10	162390
Антикоррозионные работы	5	81195
Кабельные разводки	5	81195
КИПиА	10	162390
Монтаж оборудования	15	243585
Вспомогательное оборудование	5	81195
Итого	65	974340

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) составят:

$$C_{\text{кап.}} = C_{\text{обор.}} + \Sigma C_{\text{затр.}}, \quad (56)$$

где  $C_{\text{обор.}}$  – суммарные расходы на основное оборудование, руб.;

$\Sigma C_{\text{затр.}}$  – суммарные расходы на наладку и монтаж оборудования, руб.

$$C_{\text{кап.}} = 1623900 + 974340 = 2598240 \text{ руб.}$$

Полные капитальные затраты составят 4637280 рублей, из них 56 % приходится на оборудование и 44 % на здание.

Техническое эксплуатирование зданий подразумевает проведение мероприятий по его содержанию, которые включают в себя затраты на содержание здания и затраты на текущий ремонт.

Затраты на содержание здания – 2 % от его общей стоимости:

$$Z_{\text{сод.}} = 2039040 \cdot 0,02 = 40780 \text{ руб./год.}$$

Затраты на текущий ремонт здания – 2 % от его общей стоимости:

$$Z_{\text{т.р.}} = 2039040 \cdot 0,02 = 40780 \text{ руб./год.}$$

Амортизационные отчисления на здание:

$$A_{зд.} = C_{зд.} \cdot \alpha, \quad (57)$$

где  $A_{зд.}$  – амортизационные отчисления на здание, руб./год;

$\alpha$  – коэффициент срока службы здания (40 лет).

$$A_{зд.} = 2039040 \cdot 1/40 = 50976 \text{ руб./год.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\Sigma Z_1 = Z_{сод.} + Z_{т.р.} + A_{зд.}, \quad (58)$$

где  $\Sigma Z_1$  – суммарные затраты на содержание и эксплуатацию здания, руб./год.

$$\Sigma Z_1 = 48780 + 40780 + 50976 = 148536 \text{ руб./год.}$$

В расходы на содержание и эксплуатацию оборудования входят:

Ремонтный фонд – 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{т.р.} = 1623900 \cdot 0,15 = 243585 \text{ руб./год.}$$

Расходы на содержание оборудования – 5 % от его стоимости:

$$Z_{сод.} = 1623900 \cdot 0,05 = 81195 \text{ руб./год.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования (20 % от стоимости):

$$A_{об.} = 1623900 \cdot 0,2 = 324780 \text{ руб./год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования рассчитывается по следующей формуле:

$$\Sigma Z_2 = \Phi_{т.р.} + Z_{сод.} + A_{об.}, \quad (59)$$

где  $\Sigma Z_2$  – суммарные затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб./год.

$$\Sigma Z_2 = 243585 + 81195 + 324780 = 649560 \text{ руб./год.}$$

Тогда общие производственные расходы составят:

$$Z_{общ.} = \Sigma Z_1 + \Sigma Z_2, \quad (60)$$

где  $Z_{общ.}$  – общепроизводственные затраты, руб./год.

$$Z_{общ.} = 148536 + 649560 = 798096 \text{ руб./год.}$$

## 5.6 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электрическую энергию производится по следующей формуле [22]:

$$Z_{\text{эл.эн.}} = T_{\text{эл.эн.}} \cdot N_{\text{T}} \cdot T_{\text{р.об.}}, \quad (61)$$

где  $Z_{\text{эл.эн.}}$  – затраты на электроэнергию, руб./год;

$T_{\text{эл.эн.}}$  – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб., (4,54 руб.);

$N_{\text{T}}$  – суммарная мощность, кВт, (48 кВт);

$T_{\text{р.об.}}$  – время работы оборудования в год, ч, (7200 ч).

$$Z_{\text{эл.эн.}} = 4,54 \cdot 48 \cdot 7200 = 1569024 \text{ руб./год.}$$

Расчет затрат на воду:

$$Z_{\text{вод.}} = T_{\text{вод.}} \cdot T_{\text{р.об.}} \cdot B, \quad (62)$$

где  $Z_{\text{вод.}}$  – затраты на воду, руб./год;

$T_{\text{вод.}}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> воды, руб., (13,17 руб./м<sup>3</sup>);

$B$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup> (2 м<sup>3</sup>/ч).

$$Z_{\text{вод.}} = 13,17 \cdot 7200 \cdot 2 = 189648 \text{ руб./год.}$$

Затраты на освещение:

$$Z_{\text{осв.}} = \frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot T_{\text{р.об.}}}{1000} \cdot T_{\text{э}}, \quad (63)$$

где  $Z_{\text{осв.}}$  – затраты на освещение, руб./год,

15 – количество Ватт на 1 м<sup>2</sup> пола;

$S_{\text{п}}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>, (216 м<sup>2</sup>);

$M$  – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч);

$T_{\text{э}}$  – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб., (4,54 руб.);

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

$$Z_{\text{осв.}} = (15 \cdot 216 \cdot 24 \cdot 300 / 1000) \cdot 4,54 = 105909 \text{ руб./год.}$$

Затраты на вентиляцию:

$$Z_{\text{вент.}} = (P_{\text{эд.}} \cdot T_{\text{кал}}) \cdot T_{\text{эл.эн.}}, \quad (64)$$

где  $Z_{\text{вент.}}$  – затраты на вентиляцию, руб./год;

$T_{\text{кал}}$  – календарный фонд времени, ч;

$P_{\text{э.д.}}$  – мощность электродвигателя вентиляции, кВт. В цехе установлены вентилирующие устройства, в количестве 7 штук, ( $P_{\text{э.д.}} = 10$  кВт).

$$Z_{\text{вент}} = (10 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 300) \cdot 4,7 = 2368800 \text{ руб./год.}$$

Затраты на отопление:

$$Z_{\text{отопл.}} = \frac{\alpha \cdot T \cdot V_{\text{о.п.}}}{1000} \cdot T_{\text{э}}, \quad (65)$$

где  $Z_{\text{отопл.}}$  – затраты на отопление, руб./год;

$\alpha$  – количество тепла на 1 м<sup>3</sup> помещения, кВт, (4,4 кВт);

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

$V_{\text{о.п.}}$  – объем отапливаемого помещения, м<sup>3</sup>, (864 м<sup>3</sup>);

$T_{\text{э}}$  – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб., (2,93 руб.).

$$Z_{\text{отопл.}} = (4,4 \cdot 4896 \cdot 864 \cdot 2,93) / 1000 = 54535 \text{ руб./год.}$$

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{\text{от. тб.}} = 11519829 \cdot 0,12 = 1382379 \text{ руб./год.}$$

## 5.7 Затраты на реагенты

Затраты на реагенты, используемые для осуществления процесса магнийтермического восстановления указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на реагенты и исходное сырье

Наименование	Цена за единицу, руб./т	Количество на весь годовой выпуск, ед./т	Итоговые затраты, руб./год
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9860000	48,41	477322600
Mg	127600	14,64	1868064
HCl	2000	45,38	90760
CaO	7890	38,39	302897
Ar	1600000	3,7	5920000

Общие затраты на реагенты составили 485504321 рублей в год.

## 5.8 Калькуляция себестоимости передела

В таблице 23 приведены значения условно-постоянных и условно переменных затрат.

Таблица 23 – Сводная таблица результатов

№	Наименование статей расхода	Сумма, руб./год
1	Сырье	485504321
2	Затраты на электроэнергию	1569024
Условно-переменные затраты		487073345
1	Фонд ЗП	11519829
2	Отчисления на соц. нужды	3455948
3	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	649560
4	Расходы на содержание и эксплуатацию здания	148536
5	Расходы на ОТ и ТБ	1382379
Условно-постоянные затраты		17156252
Полная себестоимость		504229597

### Вывод по главе 5

Составление матрицы SWOT-анализа позволило определить сильные и слабые стороны рассматриваемой технологии. Были выявлены возможные угрозы и перспективы для производства танталового порошка.

Было установлено, что для проведения процесса магнийтермического восстановления явочная численность рабочего персонала составила 16 человек.

Был произведен расчет заработной платы основных, вспомогательных и инженерно-технических работников, которая составила 11519829 руб/год. С учетом технических характеристик проектируемого цеха и используемого основного и вспомогательного оборудования был произведен расчет капитальных и технологических затрат. Учтены затраты на химические реагенты, используемые в технологии магнийтермического восстановления.



Была рассчитана себестоимость конечного полупродукта, которая составила 504229597 рублей. Установлено, что основная часть затрат приходится на закупку сырья и составляет 95 % от общей себестоимости. На содержание и эксплуатацию оборудования приходится 0,2 %, на долю оплаты труда и социальные нужды – 3 %. На обслуживание цеха и затраты на техническую электроэнергию приходится 1,8 %.

Установлено, что условная себестоимость полученного порошка тантала по рассматриваемой технологии составляет 9,48 рублей при цене на рынке, равной 17,28 рублей за грамм порошка тантала чистотой 99,9 %. Добавочная стоимость (себестоимость передела без учета затрат на закупку исходного отработанного катализатора) на один грамм выпускаемого полупродукта составила 2 рубля.

## **7 Автоматизация процесса**

### **7.1 Описание схемы автоматизации**

Схема автоматизации выполнена в соответствии с ГОСТ 21.404-85 и приведена в приложении Г.

Автоматизация процесса магнийтермического восстановления пентаоксида тантала дает возможность стабилизировать процесс и позволяет улучшить качество регулирования. Повышается уровень безопасности сотрудников, исключением контакта с нагретыми поверхностями, так как восстановление проводится при высоких температурах, в следствие этого уменьшается риск возникновения несчастных случаев. Полная автоматизация процесса позволяет снизить количество требуемых рабочих, что способствует снижению трудовых затрат. Главным преимуществом автоматизации цеха является улучшение качества производимой продукции [39].

Процесс восстановления осуществляется с выгрузки восстановителя из бункера 1 с помощью шнека 3 и выгрузки пентаоксида тантала из бункера 2 шнеком 4 в бункер исходного сырья 5. Масса восстановителя и оксида измеряется датчиком веса (позиция 1-1 и позиция 3-1 соответственно). Исходное сырье, масса которого измеряется датчиком веса (позиция 5-1), из бункера 5 шнеком 6 подается в аппарат восстановления. На валу шнекового питателя 3, 6 и 9 установлены преобразователи частот (позиция 2-1, 4-1 и 6-1 соответственно) для равномерной подачи веществ. Исходное сырье диспергируется в аппарат восстановления 8 с помощью диспергирующего устройства 7, включаемого оператором нажатием кнопки на пульте.

Процесс восстановления ведется при температуре 1100 °С. Измерение температуры в реакционной зоне осуществляется при помощи датчика температуры (позиция 8-1) и регулируется при помощи ТЭНов 12. Восстановленная шихта после прохождения по реакционной зоне поступает в бункер-приемник 9, обеспеченного теплоизоляцией, в котором выдерживается

для удаления непрореагировавшего магния. Пары магния улавливаются аргонном, подаваемым по трубопроводу 5.5 под давлением, которое измеряется датчиком давления (позиция 10-1). Расход аргона измеряется расходомером (позиция 11-1) и регулируется исполнительным механизмом 16. Пары магния с аргонном поступаю в бункер 10, где магниий конденсируется и отправляется на участок регенерации. Масса магния, поступившего в бункер, измеряется датчиком веса (позиция 9-1).

При достижении определенной массы восстановленной шихты в бункере 9, измеряемой датчиком веса (позиция 12-1), происходит открытие шибера 18. После чего шихта шнеком 12 подается в бункер 13, где выдерживается для достижения комнатной температуры. Масс поступившей смеси измеряется датчиком веса (позиция 15-1). Измерение температуры в бункере осуществляется при помощи датчика температуры (позиция 16-1). На валу шнекового питателя 20 установлен преобразователь частот (позиция 14-1).

После достижения комнатной температуры восстановленная шихта механическим путем перегружается в бункер 14, откуда шнеком 15 подается в аппарат выщелачивания для удаления примеси остаточной магния и его оксида. Масса смеси в бункере измеряется датчиком веса (позиция 17-1). На валу шнекового питателя 23 установлен преобразователь частот (позиция 18-1). Выщелачивание примесей проводится при перемешивании мешалкой 26 соляной кислотой, поступающей по трубопроводу 6.1, расход которой измеряется датчиком расхода (позиция 20-1) и регулируется исполнительным механизмом 28. Подача кислоты осуществляется до установленного значения рН в интервале от 1 до 2, которое измеряется датчиком рН-метра (позиция 21-1), и прекращается исполнительным механизмом 28.

Процесс выщелачивания сопровождается выделением большого количества тепла. Температура в аппарате измеряется датчиком температуры (позиция 22-1) и регулируется исполнительным механизмом 31. При повышении температуры более 80 °С происходит подача охлажденной технической воды по

трубопроводу 1.6 из чиллера 17 для нормализации температуры процесса до 60 °С. Температура в чиллере измеряется датчиком температуры (позиция 24-1). Происходит контроль уровня воды в чиллере. Уровень измеряется датчиком уровня (позиция 25-1). При необходимости вода заливается в чиллер рабочим.

Продуктом выщелачивания, необходимым для удаления в целях безопасности, является водород. Его пары поступаю по трубопроводу 4.5 в систему улавливания 19 для дальнейшей газоочистки, давление в которой измеряется датчиком давления (позиция 26-1) и регулируется исполнительным механизмом 36.

В основном аппарате выщелачивания 20 осуществляется измерение уровня датчиком уровня (позиция 27-1).

После выщелачивания пульпа отправляется по трубопроводу 0.6 при открытии вентиля 38. Как только расходомер (позиция 29-1) начал показывать движение пульпы, подаваемой центробежным насосом 40, происходит включение ленточного вакуум-фильтра 21 от запуска оператором мотор-редуктора 41. При движении осадка по ленточному фильтру осуществляется промывка водой, подающейся по трубопроводу 1.9. Расход воды измеряется расходомером (позиция 35-1) и регулируется насосом 45. Подача воды на ленту осуществляется рабочим при открытии вентиля. Движение маточного раствора по трубопроводу 6.7 осуществляется за счет создания вакуума в приемнике 25 вакуум-насосом 42, который работает за счет периодического изменения объёма рабочей камеры 23. Уровень в камере измеряется уровнемером (позиция 32-1). Маточный раствор из бункера 25 поступает на нейтрализацию при открытии вентиля 48. Процесс нейтрализации осуществляется в агитаторе 27, уровень в котором измеряется уровнемером (позиция 36-1) и регулируется насосом 50. Запуск процесса ведется при включении мешалки 51. В качестве нейтрализатора используется известь, которая из бункера 28 шнеком 29 подается в аппарат нейтрализации. Вес вещества в бункере и измеряется датчиком веса (позиция 38-1). На валу шнекового питателя 54 установлен преобразователь частот (позиция 39-1). Температура в аппарате измеряется датчиком температуры (позиция 40-1)

и регулируется исполнительным механизмом 56. Контроль температуры осуществляется по принципу охладительной системы в процессе выщелачивания. Подача охлажденной воды в рубашку аппарата нейтрализации осуществляется насосом 57 по трубопроводу 1.6.

Нейтрализованная пульпа поступает в приемник 30 после открытия вентиля 58. Уровень в приемнике измеряется уровнемером (позиция 43-1).

Твердый остаток после фильтрации на ленточном фильтре 33 с помощью транспортной ленты 32, запускаемой оператором нажатием кнопки на пульте, поступает в бункер 33. Из бункера при помощи шнека 34 твердая фаза отправляется на процесс сушки в барабанно-вращающейся печи 35. Масса поступающего порошка измеряется датчиком веса (позиция 45-1). На валу шнекового питателя 63 установлен преобразователь частот (позиция 46-1) для равномерной подачи восстановленного порошка. Движение ленты осуществляется с заданной скоростью и начинается после нажатия оператором кнопки на щите. Вращение печи осуществляется при помощи привода 66. В печи производится измерение температуры датчиком температуры (позиция 47-1) и регулируется ТЭНами 65. После проведения процесса сушки происходит выгрузка танталового порошка в бункер 36. Масса поступающего порошка измеряется датчиком веса (позиция 49-1).

## **7.2. Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации**

Контролю подлежат следующие параметры:

- расход инертного газа для продувки аппарата;
- давление газообразных веществ;
- расход жидких реагентов, поступающих в аппараты;
- температура в аппарате восстановления;
- температура в приемнике;
- температура в агитаторе;

- температура в барабанно-вращающейся печи;
- частота вращения шнековых транспортеров.

Регулированию подлежат следующие параметры:

- расход инертного газа для продувки;
- расход жидких реагентов, поступающих в аппараты;
- уровень в барабанном фильтре;
- уровень в приемном устройстве и аппарате;
- концентрация раствора в агитаторе;
- масса продуктов в приемных и разгрузочных емкостях.

Сигнализации подлежат следующие параметры:

- уровень раствора в сборниках и аппаратах;
- масса продуктов в приемных и разгрузочных бункерах.

### 7.3 Выбор контрольно-измерительных приборов

Основные характеристики используемых датчиков и преобразователей указаны в таблице 30.

Таблица 30 – Характеристика датчиков и преобразователей

Позиция	Название	Параметры
15 – 1, 18 – 1, 19 – 1	Ультразвуковой уровнемер, РусАвтоматизация, модель EchoTREK	Точность измерения $\pm 0,2$ %; Диапазон измерения до 25 м; Диапазон рабочих температур от -30 до +100 °С; Рабочее давление: от 0,5 до 3 бар; Сигнальный выход от 4 до 20 мА; Реле SPDT AC 250 В /3 А и SPDT DC 30 В/1 А; Погрешность 0,02 %; Взрывозащищенное исполнение
1 -1, 9 – 1, 10-1, 20-1, 23-1	Тензорезисторный датчик веса, Тензом, модель Т4	Диапазон измерения от 5 до 1000 кг; Погрешность 0,04 %; Диапазон рабочих температур от -20 до +90 °С; Защита IP 68; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Номинальное значение до 300 кг
2-1, 11-1, 21-1	Преобразователь частот, PROSTAR, модель PR6000	Сетевое напряжение 380 В; Диапазон мощностей от 0,75 до 315 кВт; Выходная частота от 0 до 400 Гц; Тип защиты IP 20

Продолжение таблицы 30

6-1, 7-1, 8-1	Термометр сопротивления цифровой, НПО Промавтоника, модель ТЦЩ – 5	Диапазон температур от 0 до +1200 °С; Защита IP 54; Точность $\pm 0,5$ К; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Погрешность в 1 °С
16-1, 22-1	Термометр сопротивления, Пульсар, модель Pt100	Диапазон температур от 0 до +100 °С; Платиновое сопротивление (Pt100); Защита IP 54; Точность $\pm 0,2$ К; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, от 0 до 10 В; Погрешность в 1 °С
3-1, 5-1, 25-1	Датчик разрежения (вакууметрического давления), Метроник, модель Курант ДР	Диапазон температур от -40 до +80 °С; Рабочее давление от -0,16 до -100 кПа; Выходной сигнал от 4 до 20 мА (2-х проводная линия) или от 0,5 до 0,20 мА (3-х проводная линия); Погрешность 1 %; Точность измерения $\pm 0,5$ %
13-1	Концентратомер, ЦентрРосОборудовани е, модель АЖК – 3101.К	Диапазон температур от 5 до +100 °С; Рабочее давление не более 1,6 МПа; Выходной сигнал от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА; Погрешность 2 %; Точность измерения $\pm 0,2$ %
4-1, 12-1, 26-1	Вихревой расходомер, ЭМИС, модель ВИХРЬ 205	Погрешность $\pm 1,5$ % при измерении расхода жидкостей, 2,5 % – расхода газа; Рабочее давление до 25 МПа; Выходной сигнал от 4 до 20 мА, частотный до 10000 Гц; Защита IP 67; Диапазон рабочих температур от -40 до +250 °С.

**Вывод по главе 7**

При разработке системы автоматического регулирования для процесса восстановления пентаоксида тантала магнием были определены параметры технологического процесса, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации. Была разработана функциональная схема автоматизации и подобраны первичные преобразователи для проведения технологического процесса.