

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

Институт: Физико-технический

Специальность: 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

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

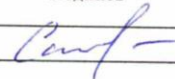
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основ гидридной технологии получения сплавов Ti-Nd и исследование их свойств УДК 669.295.06.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Воробьева Анна Андреевна		22.12.16

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТРЭ	Сачкова А.С.	к.б.н.		10.01.2017

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		22.12.16

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Д.В.			10.01.2017

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры электроники и автоматизации физических установок	Вильнина А.В.	к.т.н.		29.12.16

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
заведующий кафедрой ХТРЭ	Крайденко Р.И.	д.х.н.		

Томск – 2017 г.

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

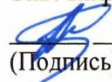
Институт: Физико-технический

Направление подготовки (специальность): 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 Р.И. Крайденко
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломной работы

Студенту:

Группа	ФИО
0412	Воробьевой Анне Андреевне

Тема работы:

Разработка основ гидридной технологии получения сплавов Ti–Nd и исследование их свойств	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	08.07.2016 №5594/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 января 2017 года
--	---------------------

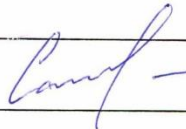
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Необходимо разработать основы технологии получения сплавов Ti – Nd из соответствующих гидридов. Задачи: исследовать влияние стадий гидрирования на размер частиц металла и гидрида металла; получить гидрид титана и гидрид неодима; исследовать влияние добавки неодима на формирование состава и структуры функциональных материалов; определить фазовый и элементный состав полученного материала.
--	---

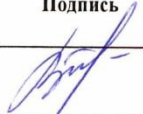
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение. 1. Обзор литературы. 2. Объекты и методы исследования 3. Расчеты и аналитика 4. Результаты проведенного исследования 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность 7. Автоматизация процесса Заключение (выводы) Список использованных источников
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Физико-химические основы процесса. 2. Результаты исследований. 3. Блок-схема с материальными потоками. 4. Аппаратурно-технологическая схема. 5. Технико-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.ф.н., доцент кафедры менеджмента Тухватулина Л.Р.
Социальная ответственность	ассистент кафедры ХТРЭ ФТИ Акимов Д.В.
Автоматизация процесса	к.т.н., доцент кафедры электроники и автоматизации физических установок Вильнина А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы должны быть написаны на русском языке. Реферат – на русском и английском языках.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03 октября 2016 года
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ХТРЭ	Сачкова А.С.	к.б.н.		3.10.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Воробьева Анна Андреевна		3.10.16

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 240601 «Химическая технология материалов современной энергетики», специалитет

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
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
<i>Универсальные компетенции</i>	
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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 103 с., 12 рис., 28 табл., 83 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: гидрид титана, гидрид неодима, гидридная технология, функциональные материалы, сплав титан-неодим.

Объектом исследования является гидридная технология получения сплава титан-неодим.

Предметом исследования является конечный продукт гидридной технологии – функциональный материал (сплав титан-неодим).

Цель работы – разработка основ гидридной технологии получения сплавов Ti-Nd и изучении физико-химических свойств полученных функциональных материалов.

В процессе работы подбирали оптимальные условия гидридной технологии. Синтезировали гидриды титана и неодима, получали сплав Ti-Nd. Исследовали свойства промежуточных и конечных материалов.

Проведен расчет материального и теплового балансов получения сплава титан-неодим. В результате работы показаны основы гидридной технологии получения сплава Ti-Nd и описаны его физико-химические свойства.

Степень внедрения: Результаты работы могут быть использованы на заводах / предприятиях, таких как:

- ФГУП «ВИАМ», г. Москва;
- ФГУП «Спецмагнит», г. Москва;
- ЗАО НПП «Редмаг», г. Калуга;
- ФГУП «НИиЭИ автомобильной электроники и электрооборудования», г. Москва;
- ООО «Поз-Прогресс», г. В. Пышма, Свердловская обл. и др.

Область применения: Функциональный материал Ti-Nd является основой, составной частью деталей в высокопрочных конструкциях.

Экономическая эффективность: Обоснована рентабельность производства функционального материала при производительности 100 тонн в год.

В будущем планируется: Продолжить исследование с целью модернизации гидридной технологии для получения других функциональных материалов.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Нормативные ссылки.

В настоящем дипломном работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12-01-82–77 Сварка в химическом машиностроении.
2. ГОСТ 12.02.003–91 Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. ГОСТ 12.4.028–76 Система стандартов безопасности труда. Респираторы ШБ – 1 «Лепесток». Технические условия.
5. ГОСТ 12.4.103–83 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация.
6. ГОСТ 12.4.121-83 Система стандартов безопасности труда. Противогазы промышленные фильтрующие.
7. ГОСТ 12.4.127–83 Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная. Номенклатура показателей качества.
8. ГОСТ 15596-82 Источники тока химические. Термины и определения.

Определения.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

функциональные материалы: Материалы, к которым предъявляются нормированные требования к тем или иным физико-химическим, механическим и технологическим характеристикам в соответствии с их назначением в изделиях новой техники.

гидрирование: Совокупность химических процессов, происходящих при воздействии водорода с металлами или менее отрицательными, чем водород, неметаллами.

сплав: Вещество из двух или нескольких металлов (или других веществ), получающееся из смешения их при плавлении.

Обозначения и сокращения.

РЗМ – редкоземельные материалы;

ВПК – высокопрочные конструкции;

КПД – коэффициент полезного действия;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ТБ – техника безопасности;

ОТ – охрана труда.

Оглавление

Введение	12
1. Обзор литературы.....	13
1.1 Функциональные материалы	13
1.2 Сплавы на основе титана	15
1.3 Технологии получения сплавов.....	18
1.3.1 Технология плавки	18
1.3.2 Методы порошковой металлургии	19
1.4. Гидриды металлов	22
1.4.1 Гидрид титана.....	23
1.4.2 Гидрид неодима.....	24
2 Объект и методы исследования	26
2.1 Реактивы и материалы	26
2.2 Методика получение гидридов титана и неодима.....	28
2.3 Методика получение сплава титан-неодим	28
2.4 Термодинамика процесса получения интерметаллида Ti-Nd	29
3. Расчеты и аналитика	32
3.1 Расчёт массы навески проб, пробоподготовка	32
3.2 Расчет материального баланса.....	32
3.3 Расчет теплового баланса	34
3.4 Аппаратурный расчет.....	37
3.5 Гидравлический расчет	38
3.6 Расчет теплоизоляции	40
3.7 Расчет опор	41
4. Результаты проведенного исследования	44
4.1 Исследование влияния стадий гидрирования на размер частиц металла и гидрида металла	44
4.2. Исследование полученных образцов гидридов титана и неодима	50
4.3. Определение оптимального содержания неодима в функциональном материале на основе титана	52

4.4 Фазовый и элементный состав функционального материала Ti-Nd.....	54
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	57
5.2 SWOT-анализ.....	59
5.3 Планирование потребности в человеческих ресурсах	63
5.4 Формирование плана и графика разработки и внедрения инженерного решения.....	64
5.5 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений	64
5.6 Составление бюджета разработки и внедрения инженерных решений	66
5.7 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	73
6 Социальная ответственность	76
6.1 Характеристика производства	76
6.2 Безопасность при работе с химическими веществами.....	77
6.3 Электробезопасность	78
6.4 Пожароопасность	79
6.5 Производственное освещение	81
6.7 Шум и вибрация	84
6.8 Охрана окружающей среды	84
6.9 Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	85
7 Автоматизация процесса.....	86
7.1 Описание функциональной схемы автоматизации	86
7.2 Перечень датчиков используемых при автоматизации процесса	87
7.3 Действие оператора при пуске технологического процесса.....	89
Выводы	90
Список публикаций студента	91
Список использованных источников	92
Приложение А	101
Приложение Б.....	103

Введение

Интенсивное развитие химии гидридов металлов [1], сплавов [2] и интерметаллических соединений (ИМС), наблюдающееся в последние два десятилетия, обусловлено как научным интересом, так и перспективами применения этих веществ в различных областях техники [3] Прежде всего, это относится к так называемым функциональным материалам [4].

Функциональные материалы – это материалы, обладающие определенными физико-химическими, механическими и технологическими свойствами, которые в совокупности обеспечивают использование этих материалов в соответствии с их назначением в науке и технике [5].

Так, например, в авиастроении, в космических технологиях, в металлургии, в химическом, пищевом и транспортном машиностроении [6] необходимы функциональные материалы, обладающие высокой прочностью, жаростойкостью в сочетании с высокой коррозионной стойкостью [7], при этом получение данных материалов не должно занимать много времени и ресурсов, и быть экономически обоснованным. В качестве таких материалов могут выступать сплавы титана с редкоземельными металлами (РЗМ) [8].

На сегодняшний день существуют два основных метода [9] получения функциональных материалов: технология плавки и технология порошковой металлургии [10], последний из которых является особенно перспективным [11]. С помощью данного метода возможно получать материалы с наименьшим количеством примесей, а так же изделия с высокими техническими и экономическими показателями [12].

Целью работы является разработка основ гидридной технологии получения сплавов Ti-Nd и изучения физико-химических свойств полученных функциональных материалов.

1. Обзор литературы

Данный раздел дипломной работы содержит: сведения о функциональных материалах; информацию о сплавах на основе титана и РЗМ; методах получения функциональных материалов; данные о гидридах, как одной из стадий получения сплавов. В результате анализа и сравнения способов получения сплавов, приводимых в данном разделе, отмечены их преимущества и недостатки.

1.1 Функциональные материалы

В современном производстве металлических изделий использование металлов в чистом виде встречается нечасто. Это связано с тем, что «чистые» металлы далеко не всегда обладают всем набором характеристик, необходимых для изготовления металлоконструкций и других металлических изделий. В основном, для этих целей применяются различные сплавы [13]. В соответствии с областью применения и требованиями к сплаву (материалу) в научной литературе им дали название «функциональные материалы» [14].

Функциональные материалы – это материалы, которые по своим физико-химическим, механическим и технологическим характеристикам применяются в соответствии с их назначением в изделиях новой техники [15].

Функциональные материалы повышают качество металлургической продукции, улучшают их свойства, в частности: ударопрочность, вязкость и коррозионную стойкость. Такие материалы находят применение в первую очередь в высокопрочных конструкциях и авиационно-космической отрасли [16].

Функциональные материалы на основе железа, магния, алюминия, меди, ниобия, титана обладают улучшенными свойствами, если в его составе есть церий. Легирование конструкционных марок стали церием значительно повышает их прочность. В современной литературе достаточно хорошо изучено влияние разных доз церия на структуру и свойства литой и ковальной стали,

прежде всего, легированной [17]. Малые добавки церия (1,2 %) очищают сталь от вредных неметаллических включений, прежде всего серы и газов, большие ($> 1,2$ %) – образуют самостоятельные окисные включения [18].

Функциональные материалы, имеющее в составе РЗМ, применяются при производстве стали для изготовления магистральных нефтегазопроводов, работающих в условиях севера. В стали образуются недеформируемые включения сульфидов и оксисульфидов РЗМ, что предопределяет постоянство свойств в продольном и поперечном направлениях и повышает надежность металлоизделий. При обработке литой стали комплексными сплавами с РЗМ отмечается повышение пластичности, ударной вязкости, снижение порога хладноломкости до минус 60-70 °С [19].

РЗМ способствуют увеличению плотности стали как за счет дегазационного воздействия, так и за счет улучшения пропитываемости междендритных пространств, вследствие рафинирования и снижения вязкости жидкого металла. Применение РЗМ эффективно для марок свариваемой стали, характеризующихся в области шва сочетанием литой и деформированной структуры и склонных к слоистому растрескиванию [19].

Модифицированный РЗМ чугуны с шаровидным графитом по пределу прочности в 2-3 раза превосходит серый чугун. Небольшие добавки (0,03-0,05% РЗМ) в чугуны позволяют получать тонкостенные отливки без отбела [19].

Неодим положительно влияет на свойства магниевых, алюминиевых и титановых сплавов [20]. В России созданы высокопрочные магниевые сплавы, легированные неодимом и цирконием [19]. Предел длительной прочности при повышенных температурах у них намного больше, чем у магниевых сплавов, легированных другими элементами. Алюминий, легированный неодимом, химически взаимодействует с ним, при этом образуются соединения состава NdAl_4 и NdAl_2 . В итоге пятипроцентная добавка неодима вдвое увеличивает предел прочности алюминия (с 5 до 10 кг/мм²) [21]. Во много раз возрастает твердость сплава. Подобным же образом неодим действует и на свойства

титана. Добавка 1,2 % церия увеличивает предел прочности титана с 32 до 38-40 кг/мм², а примерно такая же добавка неодима – до 48-50 кг/мм² [22].

Все перечисленное – далеко не полный список примеров использования РЗМ в металлургии. Важная отрасль применения РЗМ – постоянные магниты. Наиболее высокие характеристики (коэрцитивная сила, остаточная индукция и максимальное энергетическое произведение) сегодня имеют магниты на основе сплавов Nd-Fe-B и Sm-Co. Магниты выпускаются с большим количеством градаций, чтобы охватить широкий диапазон свойств и областей применения [23].

В настоящее время наибольшее распространение получили функциональные материалы на основе титана. Это связано с тем, что сплавы титана применяются для обшивки самолетов, морских судов, подводных лодок; корпусов ракет; дисков и лопаток стационарных турбин и компрессоров авиационных двигателей; гребных винтов; баллонов для сжиженных газов; емкостей для агрессивных химических сред [24].

1.2 Сплавы на основе титана

Известно, что в промышленности и в металлургии одним из самых перспективных и часто используемых металлов является титан. На основе его создают сплавы, которые характеризуются важными прочностными характеристиками при сохранении высокой пластичности в термически упрочненном состоянии, а также повышенной технологичностью в закаленном состоянии [25].

Важнейшими преимуществами титановых сплавов перед другими функциональными материалами являются их высокие удельная прочность и жаропрочность в сочетании с высокой коррозионной стойкостью [26].

Кроме того, титан и его сплавы хорошо свариваются, парамагнитны и обладают рядом другими свойств, имеющих важное значение в ряде отраслей техники [27]. Перечисленные качества титановых сплавов открывают большие перспективы их применения в тех областях машиностроения. Это относится, в

первую очередь, к таким отраслям техники как авиастроение, ракетостроение, судостроение, химическое, пищевое и транспортное машиностроение [28].

Улучшить свойства материалов на основе титана можно путем добавок. Добавление РЗМ к титану позволяет в 2-3 раза повысить его прочность, иногда и коррозионную стойкость [29]. Все элементы по влиянию на полиморфизм титана подразделяются на три группы:

1. α – стабилизаторы – элементы, повышающие температуру плавления ($T_{\text{пл}}$) титана. Из металлов к числу α – стабилизаторов относятся Al, Ga, In, из неметаллов – C, N, O [29].

2. β – стабилизаторы – элементы, понижающие $T_{\text{пл}}$ титана. Их можно разбить на три подгруппы:

2.1 В сплавах титана с элементами 1 подгруппы при достаточно низкой температуре происходит эвтектоидный распад β – фазы; к их числу относятся Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, называемые эвтектоидообразующими β – стабилизаторами [29].

2.2 В сплавах титана с элементами 2 подгруппы β – раствор сохраняется до комнатной температуры. К числу этих элементов принадлежат V, Mo, Nb, Ta. Поскольку они образуют непрерывные твердые растворы с β – титаном, их называли изоморфными β – стабилизаторами [29].

2.3 В сплавах 3 подгруппы равновесная β – фаза также стабилизируется при комнатной температуре, но непрерывных твердых β – растворов не образуется. К элементам этой подгруппы относятся Re, Ru, родий Rh, осмий, иридий, которые в области, богатой титаном, дают с ним такую же диаграмму состояния, как и изоморфные β – стабилизаторы. Их можно назвать квазиизоморфными β – стабилизаторами [29].

3. Третья группа представлена легирующими элементами, мало влияющими на $T_{\text{пл}}$ титана. Это олово, цирконий, германий, гафний и торий, которые называют нейтральными упрочнителями [29].

Основной легирующий элемент в промышленных титановых сплавах – алюминий. На основе системы Ti-Al разработана серия свариваемых титановых

сплавов. Значение системы Ti-Al для титановых сплавов сравнимо со значением системы Fe-C для сплавов на основе железа [29].

Другие важные легирующие добавки – ванадий и молибден. Высокопрочные титановые сплавы основываются на тройной системе Ti-Al-V, а жаропрочные – на Ti-Al-Mo. Наиболее распространенный сплав общего назначения, содержащий 6 %Al и 4 %V (сплав 6-4), сыграл в развитии титановой промышленности не меньшую роль, чем дуралюмин в металлургии алюминия. В соответствии с наметившейся тенденцией многокомпонентного легирования многие современные титановые сплавы содержат одновременно алюминий, ванадий и молибден [31].

В промышленных титановых сплавах в качестве легирующих компонентов применяются также хром, марганец, железо, медь, олово, цирконий, вольфрам, реже – ниобий и тантал, в некоторых композициях опытных сплавов – галлий, сурьма, висмут, но широкого промышленного применения такие сплавы пока не нашли [31]. Палладий и платину добавляют к чистому титану для повышения его стойкости в сильных коррозионных средах, в частности, в минеральных кислотах [31].

Сплавы титана получают путем метода порошковой металлургии, применение которых позволяет при тех же эксплуатационных свойствах, что и у литого или деформируемого материала, добиться снижения до 50% стоимости и времени изготовления изделий [31]. Титановый порошковый сплав ВТ6, полученный горячим изостатическим прессованием (ГИП), обладает теми же механическими свойствами, что и деформируемый сплав после отжига. Закаленному и состаренному деформируемому сплаву ВТ6 порошковый сплав уступает в прочности, но превосходит в пластичности [31].

Применение сплавов титана: обшивки самолетов, морских судов, подводных лодок; корпусов ракет и двигателей; дисков и лопаток стационарных турбин и компрессоров авиационных двигателей; гребных винтов; баллонов для сжиженных газов; емкостей для агрессивных химических сред и др.

Широкое применение сплавов титана с РЗМ требует от современной науки разработки более совершенных, экономически выгодных и минимальных по затратам сырья и времени технологий.

1.3 Технологии получения сплавов

Современные методы производства моно- и/или многокомпонентных сплавов основываются на технологиях плавки (индукционной, электродуговой или электронно-лучевой), либо порошковой металлургии [32].

Каждое из этих направлений характеризуется заметной трудоемкостью и аппаратными сложностями (применение глубокого вакуума и создание инертной среды при высоких температурах, продолжительность и многократность процессов и др.) [32].

В то же время к преимуществам данных методов можно отнести получение сплавов из тугоплавких материалов, а также получение материалов с наименьшим содержанием примесей.

1.3.1 Технология плавки

Процесс приготовления жидкого металла является одной из самых ответственных операций литейного производств, т.к. он оказывает большое влияние на качество литья [33].

Перед плавкой производят расчет шихты – количества материалов, необходимого для получения сплава заданного состава с учетом потери при плавке [33]. В первую очередь в печь загружают наиболее тугоплавкие материалы. Легколетучие, сильноокисляющиеся и малые добавки желательно вводить с помощью лигатур (вспомогательных сплавов). Специальные шлаки и флюс засыпают на первую порцию шихты [33].

Слой шлаков или флюсов защищает расплав от взаимодействия с воздухом. Покровный шлак должен быть более легкоплавким и легким, чем расплав, не взаимодействовать с расплавом [34].

Для стали и чугуна используют шлаки на основе системы $\text{CaO} - \text{SiO}_2$. Для медных сплавов используют систему $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ с добавками хлоридов натрия, кальция, буры. Основой флюсов для магниевых сплавов служит карналит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2$. Алюминиевые сплавы в случае использования грязной и легкой шихты (например, в виде стружки) плавят также под защитой флюса из карналита с добавками хлоридов и фторидов натрия и кальция [34].

В процессе плавки металл может взаимодействовать с воздухом, влагой, футеровкой, в результате чего расплав загрязняется нерастворимыми оксидами, частицами разрушенной футеровки, а также каплями шлаков, флюсов. Для очищения металла от неметаллических включений его рафинируют. Удаляются только докристаллизационные неметаллические включения, т. е. те, которые были в расплаве до начала кристаллизации [34].

1.3.2 Методы порошковой металлургии

Сущность порошковой металлургии заключается в производстве порошков и изготовлении из них изделий, покрытий или материалов многофункционального назначения по безотходной технологии [35]. Порошки получают из металлического и неметаллического сырья, а также вторичного сырья машиностроительного и металлургического производства [35].

Технологический процесс производства и обработки изделий и материалов методами порошковой металлургии включает получение порошков, их формование в заготовки, спекание (температурную обработку) и при необходимости окончательную обработку (доводку, калибровку, уплотняющее обжатие, термообработку) [36].

Методы порошковой металлургии характеризуются особой длительностью, поскольку скорость взаимодействия металлов в исходных смесях в основном определяется скоростями диффузии в твердом состоянии. Специфические сложности получения качественных сплавов связаны также с наличием на поверхностях частиц тугоплавких металлов плотной пассивирующей пленки, препятствующей процессам взаимной диффузии. В

этой связи поиск новых эффективных методов получения бинарных и многокомпонентных сплавов с заданными физико-техническими свойствами является актуальным в современном материаловедении.

Метод порошковой металлургии можно подразделить на следующие способы [37]:

1. Гальванический;
2. Газофазный;
3. Гидридный.

1.3.2.1 Гальванический способ

Сущность гальванического способа получения ВПЯМ (высокопористые ячеистые материалы) заключается в электролитическом переосаждении металла с компактных металлических анодов на подготовленные пластины с заранее созданным электропроводным слоем [38]. Для этого готовят суспензию порошка никеля или смеси порошков для получения сплава в водном растворе поливинилового спирта. Суспензию наносят на подложку из пористого полимерного материала с образованием заготовки, сушат и подвергают термической обработке при температуре не ниже 160 °С. Заготовку помещают между токонепроводящими экранами, проводят электрохимическое осаждение никеля из электролита посредством реверсирования тока. Для удаления поливинилового спирта и подложки осуществляют термодеструкцию [38].

К достоинствам гальванического способа следует отнести возможность получения пластин ВПЯМ большой площади, при толщине, зависящей от диаметра ячеек ППУ. К недостаткам – невозможность прямого получения сплавов заданного состава, неоднородность толщины покрытия как по толщине листа ВПЯМ (во внутренних частях плотность меньше, чем в наружных), так и по площади (на периферических частях плотность больше, чем в центральных областях пластин) [39].

1.3.2.2 Газофазный способ

Газофазный синтез с конденсацией паров, иначе – метод испарения и конденсации [40]. Это метод получения нанопорошков металлов, сплавов или химических соединений путем конденсации их паров вблизи холодной поверхности или на ней при контролируемой температуре в атмосфере инертного газа низкого давления [40].

Это самый простой способ получения нанокристаллических порошков ввиду его высокой производительности. В отличие от испарения в вакууме, атомы вещества, испаренного в разреженной инертной атмосфере, быстрее теряют кинетическую энергию из-за столкновений с атомами газа и образуют кластеры [41]. Установки, использующие принцип испарения – конденсации, различаются способом ввода испаряемого материала, методом подвода энергии для испарения, рабочей средой, организацией процесса конденсации, системой сбора полученного порошка. Испарение металла может происходить из тигля, или металл может поступать в зону нагрева и испарения в виде проволоки, впрыскиваемого металлического порошка или в струе жидкости. Подвод энергии может осуществляться с помощью непосредственного нагрева, пропускания электрического тока через проволоку, электродугового разряда в плазме, индукционного нагрева токами высокой и сверхвысокой частоты, лазерного излучения, электронно-лучевого нагрева. Испарение и конденсация могут протекать в вакууме, в неподвижном инертном газе, в потоке газа, в струе плазмы [41]. В зависимости от условий испарения металла (давление газа, расположение и температура подложки) его конденсация может происходить как в объеме, так и на поверхности реакционной камеры. Для объемных конденсатов более характерны частицы сферической формы, тогда как частицы поверхностного конденсата имеют огранку. При одинаковых условиях испарения и конденсации металлы с более высокой температурой плавления образуют частицы меньшего размера [41].

1.3.3.3 Гидридный метод

Один из «молодых» методов порошковой металлургии является гидридный метод [42].

Гидридная технология – новая экологически чистая технология получения сложных функциональных материалов. В качестве исходных материалов используются порошки и слитки металлов. Из них получают соответствующие гидриды в токе водорода. Полученные таким путем гидриды смешивали между собой и прессуют под давлением. На выходе формируют таблетку и отжигают в вакуумной системе. Важным является достижение в процессе спекания максимально полного дегидрирования заготовок изделия для достижения высоких механических свойств [42].

Достоинством метода является относительная дешевизна, применение тугоплавких материалов, а также получение материалов с высокой чистотой.

Для получения сплавов гидридной технологией потребуется проточная высокотемпературная печь, для того чтобы при недостаточной температуре не получить интерметаллиды [43]

Обзор литературных данных показал перспективность и широкое применение гидридной технологии в получении функциональных материалов.

1.4. Гидриды металлов

Гидриды металлов – соединения водорода с металлом [43]. Область применения гидридов металлов разнообразна. Например, они применяются для очистки водорода и водородных фильтров, в ядерных реакторах в качестве замедлителей, отражателей, электродов для топливных элементов и батарей, преобразователей энергии для тепловых электростанций, хранения и транспортировки водорода, а также в порошковой металлургии [43].

Широкое применение гидридов металлов позволяет их использовать как исходное сырье для получения сплавов.

В данном разделе представлен литературный обзор по гидридам титана и неодима [43].

1.4.1 Гидрид титана

Гидрид титана представляет собой водородное соединение титана TiH_2 . Содержание в веществе водорода равно 4,04 %. Это порошок темно-серого, почти черного цвета, имеющий кристаллическую природу. Вещество крайне хрупкое. Существует оно в двух кристаллических модификациях [44]:

- тетрагональная, пространственная группа $I4/mmm$, с параметрами решетки $a = 0,4528$ нм, $c = 0,4279$ нм при температуре ниже $37\text{ }^{\circ}C$;
- кубическая гранецентрированная, пространственная группа $Fm\bar{3}m$, с параметром решетки $a = 0,4454$ нм при температуре выше $37\text{ }^{\circ}C$ [44].

Вещество негигроскопично и очень устойчиво к воздействию воды. Одно из отличительных свойств – устойчивость к разбавленным кислотам. При температуре $300\text{ }^{\circ}C$ начинается процесс разложения гидрида. Однако вещество очень устойчиво, и процесс по мере повышения температуры ускоряется медленно – даже по достижении температуры $1100\text{ }^{\circ}C$ не удается достичь полного разложения вещества. Ускоряет этот процесс потери водорода вакуумирование, при котором можно уменьшать параметры температуры [45].

К физическим свойствам вещества относится способность магнититься [46], что позволяет использовать гидрид титана в производстве постоянных магнитов [46].

В настоящий момент гидрид титана получают разными способами [47]. Так, например, в вакууме производят отжигание титана при температуре $700\text{ }^{\circ}C$, а затем подают водород, с которым подготовленный титан входит в реакцию [47].

В другом способе соединения титана восстанавливают при помощи солей натрия, калия, кальция в водородной среде [48]. При третьем – титан

насыщается водородом при электролизе [49]. Возможно получение гидрида титана путем температурного синтеза, когда порошок нагревается в реакторе под давлением водорода, что и приводит к образованию гидрата [50].

Благодаря своим химическим и физическим свойствам гидрид титана нашел широкое применение в промышленности [51]. Он применяется в качестве парообразователя в производстве пенометаллов; как катализатор в реакциях гидрирования; в качестве безопасного источника водорода [52].

В порошковой металлургии вещество используется в процессе получения активного титана, мелкодисперсных высокоочищенных порошков металла, алмазосодержащих материалов [53]. В промышленности оно служит компонентом флюса при пайке керамики и металла [54]. Гидрид титана также добавляют в различные воспламенительные термитные составы [55].

Применение вещества в двигателях внутреннего сгорания является очень перспективным. Разработка водородных двигателей ведется ведущими автомобильными концернами, которые могут стать активным потребителем гидрида титана [56].

1.4.2 Гидрид неодима

Неодим при взаимодействии с водородом образует гидрид по следующей схеме.



где x равно 2 или 3, образуя дигидрид и тригидрид соответственно. Таким образом, максимальное количество водорода в гидриде неодима равно трем.

NdH_2 – синие кристаллы гексагональной сингонии с параметрами ячеек $a = 0,385$ нм, $c = 0,688$ нм. Энтальпия образования равна 54,5 кДж/моль. Он хорошо реагирует с водой с образованием гидроксида неодима и водорода [57].

В работах по изучению термической устойчивости показано, что тригидриды неодима разлагаются в две стадии. В интервале от 200 до 600 °C

выделяется водород, избыточный над дигидридом, и лишь около 1000 °С происходит разложение дигидрида на составляющие элементы [58], что открывает возможности применения гидридов неодима при достижении высокого вакуума, изготовлении пенометаллов и т.д. Кроме того, высокая реакционная способность этих гидридов может быть использована в различных областях неорганического синтеза [58].

Важнейшими сферами применения гидридов неодима являются [59]:

- производство мощных постоянных магнитов;
- производство лазерных материалов, длина волны составляет 1,06 мк (инфракрасное излучение);
- изготовление цветного стекла, известного как фиолетовое неодимовое стекло;
- легирование специальных конструкционных сплавов и модифицирование высококачественных сталей.

2 Объект и методы исследования

Данная глава содержит информацию о методах получения гидрида титана и гидрида неодима, как исходного сырья процесса. Представлена информация по исходным материалам, процессе пробоподготовки, приборы и методики проведения исследования. Рассчитаны термодинамические характеристики процесса.

2.1 Реактивы и материалы

Исходным сырьем для получения гидрида титана являлся титановый порошок марки ПТЭМ-1. Кроме основного компонента (титана) в составе также в обязательном порядке присутствуют такие добавки, как железо, углерод, кремний, хлор и азот (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Технические характеристики титана марки ПТЭМ-1

C	Si	N	Cl	Fe
0,03	0,04	0,03	0,06	0,08

Для получения гидрида неодима использовали металлический неодим марки НМ-2 (ТУ-48-4-205-72) с содержанием металла не менее 99 %.

В качестве источника водорода использовали промышленный генератор (QL3000, Китай) с производительность 0-3000 мл/мин. Преимуществом данного устройства является возможность получения водорода высокой чистоты (99.9995 %) посредством электролиза воды.

Исследование влияния стадий гидрирования на размер частиц металла и гидрида металла проводили с использованием прибора ANALYSETTE 22 MicroTec plus, который позволяет измерять размеры частиц в диапазоне 0,08 – 2000 мкм. В ANALYSETTE 22 MicroTec plus полупроводниковый лазер с излучением зеленого цвета используется для измерения частиц малого размера, а инфракрасный полупроводниковый лазер – для измерения более крупных частиц.

Для совместного прессования гидридов титана и неодима использовали лабораторный ручной гидравлический пресс DF-4, производство Россия (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – лабораторный ручной гидравлический пресс DF-4

Пресс имеет следующие характеристики:

- Максимальное усилие сжатия 400 КН 40000 кг/см²
- Максимальный диаметр таблетки (мм) 90
- Максимальная высота таблеток (мм) 55
- Диаметр основания верхнего и нижнего пуансона (мм) 82
- Ход (мм) 155
- Длина рычага мм 490

Образцы спекали в трубчатой печи СУОЛ 0,4.4/12. Мощность нагревательной камеры 3,5 кВт, номинальная рабочая температура 1500 °С, время разогрева до номинальной температуры 3,5ч, защитная среда нагревателя аргон, водород.

Состав полученных образцов исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Rigaku Miniflex 600 с использованием CuK α -излучения в интервале от 10 ° до 90 ° (2 θ) с шагом сканирования 0,02 ° и скоростью съемки 2 град/мин. Идентификацию дифракционных максимумов,

расчет областей когерентного рассеяния проводили с использованием базы данных JCPDS.

В работе использовали прецизионные лабораторные весы «Невские BM1502M-II».

2.2 Методика получение гидридов титана и неодима

Гидриды титана и неодима получали из соответствующих металлов, по следующей схеме:



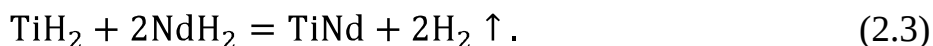
Навеску металлического титана или неодима ($m = 5$ г) помещали в кварцевый реактор ($V=1$ л), затем проводили отжиг в токе водорода. Отжиг проводили по следующей схеме: нагревали в течение 30 минут до 350°C при расходе водорода $0,15$ л/мин, затем производили нагрев до 400°C (для титана) и до 450°C (для неодима) за 90 мин при расходе водорода $0,22$ л/мин и выдерживали в течение 60 мин при конечной температуре (400°C и 450°C для титана и неодима соответственно) и расходе водорода $0,15$ л/мин.

2.3 Методика получение сплава титан-неодим

Сплавы тугоплавких металлов получали путем компактирования смеси порошков гидридов титана и неодима с последующим дегидрированием. В основе метода лежит следующая реакция:



Для осуществления процесса необходимо произвели расчеты массы гидридов по следующему уравнению (2) с учетом необходимого соотношения гидрида титана к гидриду неодима:



Образцы с содержанием неодима и титана в дальнейшем использовали для компактирования (прессования) таблеток.

Процесс компактирования готовили следующим образом:

В матрицу вставляется пробка (в случае вакуумированного исполнения пробка вставляется со стороны штуцера), с обратной стороны матрицы насыпается проба необходимого объёма. После чего в матрицу вставляется пуансон. Конструкция помещается на столик прессы пробкой вниз и прессуется при необходимом усилии. После стравливания давления, конструкция переворачивается пуансоном вниз, а пробка вынимается из матрицы. Сверху на матрицу устанавливается кольцо. При помощи настроечного винта приготовленная проба выдавливается внутрь кольца.

Затем пробы отправлялись на обжиг.

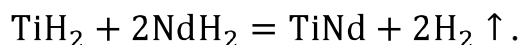
Для обжига таблетки складывали в кварцевую лодочку и помещали в лабораторную вакуумную установку. Далее проводили откачку воздуха в течении 15 минут. После чего был задан режим нагрева (Таблица 2.2):

Таблица 2.2 – Режим нагрева

Режим	Температура, °С	Время, ч
Нагрев	От 30 до 500	1,5
Нагрев	От 500 до 1100	3
Выдержка	1100	4
Остывание	От 1100 до 30	3

2.4 Термодинамика процесса получения интерметаллида Ti-Nd

Рассмотрим возможность получения сплава Ti-Nd по реакции (2.3):



Стандартные энтальпии (ΔH^0 , кДж/моль) и энтропии (ΔS^0 , Дж/(моль·К)) образования и теплоемкости веществ (C_p , Дж/(моль·К)), участвующих в реакции приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Стандартные энтальпии и энтропии образования соединений при 298 К

Вещество	ΔH^0 , кДж/моль	ΔS^0 , Дж/(моль·К)	C_p , Дж/(моль·К)
TiH ₂	-127,60	29,70	30,08
NdH ₂	-210,80	58,90	43,05
Ti-Nd	33,08	31891,1	46,96
H ₂	0	130,51[50]	28,83[50]

Проводили расчет $\Delta H^0_{x.p.}$, $\Delta S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$ по следующим формулам:

$$\Delta H^0_{x.p.} = \sum v_{np} \Delta H^0_f{}^{np} - \sum v_{исх} \Delta H^0_f{}^{исх}, \quad (2.1)$$

где $\sum v_{np} \Delta H^0_f{}^{np}$ – сумма теплот образования продуктов реакции, кДж/моль;
 $\sum v_{исх} \Delta H^0_f{}^{исх}$ – сумма теплот образования исходных веществ, кДж/моль;
 v_{np} и $v_{исх}$ – стехиометрические коэффициенты продуктов реакции и исходных веществ соответственно.

$$\Delta S^0_{x.p.} = \sum v_{np} S^0_f{}^{np} - \sum v_{исх} S^0_f{}^{исх}, \quad (2.2)$$

где $\sum v_{np} S^0_f{}^{np}$ – сумма энтропий продуктов реакции, Дж/(моль·К);
 $\sum v_{исх} S^0_f{}^{исх}$ – сумма энтропий исходных веществ, Дж/(моль·К).

$$\Delta G^0_{x.p.} = \Delta H^0_{x.p.} - T \Delta S^0_{x.p.} . \quad (2.3)$$

Результаты расчетов термодинамических параметров $\Delta H^0_{x.p.}$, $\Delta S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$ представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов термодинамических параметров

$\Delta H^0_{\text{х.р.}}$ Дж/моль	$\Delta S^0_{\text{х.р.}}$ Дж/(моль·К)	ΔG , кДж/моль		
		473К	573К	673 К
371480	31802,5	-5989,1	-9169,2	-12349,5

По полученным данным можно сделать вывод, что реакция получения сплава Ti-Nd протекает самопроизвольно при температуре выше 473 К (200 °С), но более термодинамически выгодна при 673К (400 °С).

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

1. технические характеристики разработки;
2. конкурентоспособность разработки;
3. уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
4. бюджет разработки;
5. уровень проникновения на рынок
6. финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк	Кф	Кк
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Удобный в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	1	0,8
Помехоустойчивый	0,05	2	3	0,1	0,15
Энергосберегающий	0,15	2	2	0,3	0,3
Надежный	0,1	4	3	0,4	0,3
Уровень шума	0,04	4	4	0,16	0,16
Предоставляемые возможности	0,1	5	5	0,5	0,5
Простота эксплуатации	0,03	4	3	0,12	0,09
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	0,5	0,5
Цена	0,1	4	4	0,4	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	5	5	0,15	0,15
Финансирование научной разработки	0,1	4	3	0,4	0,3
Итого	1			4,03	3,65

В данной таблице представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок), по которой видно что конкурентоспособность нашей работы выше конкурента.

5.2 SWOT-анализ

SWOT (с англ. Strengths, Weaknesses , Opportunities and Threats – сильные и слабые стороны, возможности и угрозы) представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней. Эти дополнительные сведения затем используются для того, чтобы сделать осознанный выбор относительно областей широкого спектра действия, который учитывает конкурентное и коммерческое преимущества проекта и увеличивает вероятность достижения его целей и задач.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (Таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательской работы	Слабые стороны научно-исследовательской работы
С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл2. Низкая производительность Сл3. Ограниченное количество потребителей Сл4. Низкий уровень автоматизации процесса Сл5. Дополнительное количество работников

Продолжение таблицы 5.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательской работы	Слабые стороны научно-исследовательской работы
Возможности: В1. Появление новой технологии получения сплава В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Приток частного и иностранного капитала В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Развитие альтернативных технологий У5. Дефицит специалистов

Данная таблица представляет сильные и слабые стороны предприятия, а также возможности и угрозы со стороны внешней среды.

Вторым этапом состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды (Таблица 5.3)

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица работы

Сильные стороны работы						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	0	+	+	0
	B2	-	0	+	-	0
	B3	-	-	+	-	-
	B4	+	-	0	+	0
	B5	-	-	+	-	-

Подобные интерактивные матрицы составлены для анализа пересечения сильных сторон и угроз, слабых сторон и возможностей, а также слабых сторон и угроз. Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательской работы	Слабые стороны научно-исследовательской работы
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл2. Низкая производительность Сл3. Ограниченное количество потребителей Сл4. Низкий уровень автоматизации процесса Сл5. Дополнительное количество работников

Продолжение таблицы 5.4 – SWOT-анализ

Возможности: В1. Появление новой технологии получения сплава	Стать основным поставщиком в данной отрасли;	Испытание в работе и получение положительных результатов;
В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Приток частного и иностранного капитала В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	Разработка новых продуктов по данной технологии для завоевания рынка	Снижение цен за счет увеличения объема производств
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2.Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Развитие альтернативных технологий У5.Дефицит специалистов	Продвижение продукции на акцентировании достоинств; Доработка конструкций	Усиление конкуренции; Внедрение инноваций в технологии развития; Привлечение начинающих специалистов

В данной таблице представлены результаты сравнение сильных и слабых сторон работы с возможностью и угрозами. В ходе чего определили, что для повышения работы цеха нужно:

1. Стать основным поставщиком в данной отрасли;

2. Разработать новых продуктов по данной технологии для завоевания рынка;
3. Продвигать продукции на акцентировании достоинств;
4. Доработать конструкций;
5. Усилить конкуренции;
6. Внедрить инноваций в технологии развития;
7. Привлечь начинающих специалистов;
8. Снизить цены за счет увеличения объема производств

5.3 Планирование потребности в человеческих ресурсах

В этом разделе определяется потребность в трудовых ресурсах по категории персонала (руководители, специалисты, технические исполнители, рабочие) и выполняемым функциям (технологи, механики, аппаратчики) (Таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Перечень должностных обязанностей и их характеристики

Должность	Количество работников	Образование	Стаж работы	Разряд
Специалисты				
мастер смены	2	Высшее	4 года	
инженер-технолог	2	Высшее	4 года	
Основные рабочие				
гидрировщик	4	Высшее	3 года	6
прессовщик	2	Высшее	3 года	5
аппаратчик	3	Высшее	3 года	5
Технические исполнители				
упаковщик	2	Высшее	2 года	5
слесарь	2	Среднее специальное	2 года	5
электрик	2	Среднее специальное	2 года	5

Продолжение таблицы 5.5 – Перечень должностных обязанностей и их характеристики

Должность	Количество работников	Образование	Стаж работы	Разряд
контролёр	3	Среднее специальное	2 года	5

5.4 Формирование плана и графика разработки и внедрения инженерного решения

Учитывая этапы подготовки производства необходимо составить календарный план-график производственных мероприятий (Приложение А).

План производства продукции формируется исходя из прогнозов объемов продаж на фоне конкурирующих фирм, а также на основе производственных возможностей предприятия. Данные по планированным объемам продаж представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Производственная программа выпуска продукции

Наименование показателя	2017	2018	2019	2020	2021
Объем производства, тонн в год	-	-	100	100	100
Выручка, млн руб. в год	785,2	785,2	785,2	785,2	785,2

5.5 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения инженерных решений

Потребность в основных фондах определяется исходя из стоимости оборудования, транспортных средств и других основных фондов, а также их количества.

В связи с наличием свободных производственных площадей на предприятии затрат на строительство зданий и на аренду производственных площадей не требуется. Затраты на транспортные средства не учитываются, т.к. они имеются в наличии у завода.

Расчет капитальных затрат на приобретение оборудования представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет стоимости оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед. тыс. руб.	Цена, тыс. руб.
Печь для плавки и гидрирования	1	9000	9000
Пресс	1	25000	25000
Приемочный бункер	7	560	3940
Агитатор	1	3000	3000
Итого	40940		

Дополнительно необходимо учесть затраты на монтаж и установку оборудования.

- 1) На устройство фундаментов:

$$C_{\phi} = 0,1 \cdot 40940 = 4094,0 \text{ тыс. р.};$$

- 2) На технологические трубопроводы:

$$C_{\tau} = 0,2 \cdot 40940 = 8188,0 \text{ тыс. р.};$$

- 3) На антикоррозионные работы:

$$C_{\text{ант.кор.}} = 0,05 \cdot 40940 = 2047,0 \text{ тыс. р.};$$

- 4) На кабельные разводки

$$C_{\text{к.р.}} = 0,05 \cdot 40940 = 2047,0 \text{ тыс. р.};$$

- 5) На КИПиА (контрольно-измерительные приборы и автоматика):

$$C_{\text{КИПиА}} = 0,1 \cdot 40940 = 4094,0 \text{ тыс. р.};$$

- 6) На монтаж оборудования:

$$C_{\text{монт.}} = 0,22 \cdot 40940 = 9006,8 \text{ тыс. р.};$$

- 7) На вспомогательное оборудование

$$C_{\text{всп}} = 0,05 \cdot 40940 = 2047,0 \text{ тыс. р.};$$

Сумма затрат на монтаж и установку оборудования:

$$\sum C = 31523,8 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на оборотные средства (сырье, материалы, топливо, энергия всех видов и т.д.) связаны с объемом выпуска продукции (Таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Потребность в оборотных средствах

Наименование оборотных средств	Норма расхода на единицу продукции, кВт	Цена за единицу сырья, материалов, энергии, руб.	Кол-во оборотных средств на весь годовой выпуск, кг, кВт	Затраты на оборотные средства, руб.
1) Сырье				
Ti	0,001407	1500*	5065,725	15602433
Nd	0,000201	1800**	723,675	78156,9
H ₂	0,0204	430***	73612,8	19139328
2) Энергия	0,807	2,18	2908256,88	6340000
Итого				41159917,9

* В таблице представленная стоимость была взята:

* БВБ-Альянс Краснодар, ООО,

** «СпецМеталлМастер»

*** ООО «УралКриоГаз»

5.6 Составление бюджета разработки и внедрения инженерных решений

Для определения численности рабочих необходимо установить годовой фонд времени одного среднесписочного рабочего. В непрерывных производствах с 8-часовым рабочим днем работа осуществляется пятью производственными бригадами.

Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью

определения фонда рабочего времени. Эффективное время работы персонала определяется из баланса рабочего времени (Таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№ п/п	Элементы времени	Непрерывное производство, 8- часовой рабочий день, 1 бригады	
		дней	часов
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	2920
2.	Выходные/праздничные	121	968
3.	Номинальный фонд рабочего времени	247	1971
4.	Планируемые невыходы:		
	очередные и дополнительные отпуска;	56	448
	невыходы по болезни;	12	96
	выполнение государственных и общественных обязанностей;	1	8
	отпуск в связи с учёбой без отрыва от производства;	14	112
	Итого (планируемые невыходы):	83	664
5.	Эффективный фонд рабочего времени	167	1336

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф.раб}} = 167 \cdot 8 = 1336 \text{ часов.}$$

Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.об.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{н}}, \quad (5.1)$$

где $n_{\text{б}}$ – число бригад;

$T_{\text{н}}$ – число дней, в которые бригада ходит в смену.

$$T_{\text{см.об.}} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ дней.}$$

Численность производственных рабочих определяется исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется исходя из необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объёма работы на управление каждым участком (Таблица 5.10)

Таблица 5.10 – График сменности

Номер страницы	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
2	8-16	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C
3	16-24	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
Отдых		D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A

Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{N_{\text{обс}}} \cdot n \cdot S, \quad (5.2)$$

где $N_{\text{обс}}$ – норма обслуживания, т.е. количество оборудования, которое обслуживает один человек;

n – количество установок;

S – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также учитывая уровень автоматизации оборудования цеха, получаем:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 = 4,5 = 5 \text{ чел.}$$

Для определения списочной численности рабочих воспользуемся следующим соотношением:

$$N_{\text{СП}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.об.}}}{T_{\text{эф.раб.}}}, \quad (5.3)$$

где $T_{\text{эф.об.}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$T_{\text{эф. раб.}}$ – эффективный фонд рабочего времени персонала.

$$T_{\text{эф.об.}} = D_p \cdot S \cdot t_p \left(1 - \frac{K_{\text{потерь}}}{100}\right), \quad (5.4)$$

где D_p – число рабочих дней в году ($D_p = 260$);

t_p – продолжительность рабочего дня (принять равной 6 ч);

$K_{\text{потерь}}$ – плановые потери рабочего времени на ремонт и наладку оборудования ($K_{\text{потерь}}$ – от 5 до 10 %).

$$T_{\text{эф.об.}} = 260 \cdot 3 \cdot 8 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 5616 \text{ ч.}$$

Рассчитываем списочную численность рабочих:

$$N_{\text{СП}} = 5 \cdot \frac{5616}{1336} = 21,01 = 21 \text{ чел.}$$

С учётом специфики цеха и приборного оформления к вспомогательным рабочим будет отнесён дежурный персонал в составе контролера, дежурного слесаря, дежурного электрика. Явочное число вспомогательного персонала составляет 3 человека, тогда списочная численность:

$$N_{\text{СП}} = 3 \cdot \frac{5616}{1336} = 12,61 = 13 \text{ чел.}$$

Численности специалистов производится в связи с потребностью цеха в каждой группе работников. Для реализации проекта дополнительный руководящий и административно-хозяйственный персонал не требуется. Обобщим все полученные значения в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Численность руководителей, специалистов и служащих

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{обс}$	Число смен в сутки, S	Явочная численность, $N_{яв}$	Списочная численность, $N_{сп}$
Основные рабочие	2	3	5	21
Вспомогательные рабочие	2	3	3	13
Руководители	-	-	2	4

Расчетный фонд заработной платы (ФЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Определение расходов на оплату труда персонала начинается с расчета оплаты производственных (основных) рабочих.

$$Z_{осн} = Z_{тар} + D_{прем} + D_{нв} + D_{пр}, \quad (5.5)$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд;

$D_{прем}$ – доплата премий;

$D_{пр}$ – доплата за работу в праздничные дни;

Рассчитаем тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{тар} = T_{ст} \cdot T_{эфф}, \quad (5.6)$$

где $T_{ст}$ – тарифная ставка соответствующего разряда рабочего.

Тарифные ставки для рабочих 5-го разряда – 115,68 руб.

Списочная численность основных рабочих составляет 40 человек.

$$Z_{тар \ 5 \ раз.} = 115,68 \cdot 1336 \cdot 21 = 3245518,08 \text{ руб.}$$

Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{прем} = 0,3 \cdot Z_{тар.} = 0,3 \cdot 3245518,08 = 973655,42 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в ночное время осуществляется отчислением 40% от тарифной ЗП (ночное время с 22.00 до 6 утра):

$$D_{\text{нв}} = H_{\text{сп}} \cdot 0,4(T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{нв}}), \quad (5.7)$$

где $t_{\text{нв}}$ – время ночной работы (определяется по графику сменности)

$$D_{\text{нв}} = 21 \cdot 0,4(115,68 \cdot 32) = 31094,78 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot H_{\text{яв}}, \quad (5.8)$$

где $T_{\text{пр}}$ – праздничные дни.

$$D_{\text{пр}} = 14 \cdot 2 \cdot 115,68 \cdot 5 = 16195,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.}} = 3245518,08 + 973655,42 + 31094,78 + 16195,2 = 4266463,48 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дополнительную зарплату.

$$Z_{\text{доп}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эф}}} = \frac{83 \cdot 4266463,48}{1336} = 265057,23 \text{ руб.}$$

где $D_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$\begin{aligned} Z_{\text{общ}} &= 2,5 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 2,5 \cdot (4266463,48 + 265057,23) = \\ &= 11328801,8 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассчитаем фонда заработной платы вспомогательных рабочих:

Тарифная ставка рабочих 5 разряда по общей тарифной сетке составляет 105,21руб/ч.

$$Z_{\text{тар}} = 13 \cdot 105,21 \cdot 1336 = 1827287,28 \text{ руб.,}$$

Доплата за работу в ночное время осуществляется отчислением 40% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{нв}} = 13 \cdot 0,4 \cdot 105,21 \cdot 32 = 175069,93 \text{ руб.,}$$

Доплата премий – 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{прем}} = 0,3 \cdot 1827287,28 = 548186,18 \text{ руб.}$$

Доплата за работу в праздничные дни:

Принято 14 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$Д_{\text{пр}} = 14 \cdot 2 \cdot 105,21 \cdot 3 = 8837,64 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{осн.}} = 1827287,28 + 175069,93 + 548186,18 + 8837,64 = 2559381,04 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дополнительную зарплату вспомогательных рабочих:

$$З_{\text{доп}} = \frac{83 \cdot 2559381,04}{1336} = 159003,46 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$З_{\text{общ}} = 2,5 \cdot (2559381,04 + 159003,46) = 6795961,25 \text{ руб.}$$

Рассчитаем годовой фонд заработной платы руководителей и специалистов.

Оклады служащих, руководителей и специалистов устанавливаются в зависимости от категории цеха.

- 1) Инженер-технолог – 29070 руб.;
- 2) Мастер – 30170 руб.;
- 3) Техник – 19330 руб.

Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для руководителей и специалистов принимаем равным 11 месяцев, для служащих – 11,3 месяца.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 29070 + 4 \cdot 11,3 \cdot 30170 + 1 \cdot 11,3 \cdot 19330 = 1901883 \text{ руб.}$$

Основная ЗП вычисляется по формуле:

$$З_{\text{осн}} = \Phi_{\text{осн}} + Д_{\text{пр}}, \quad (5.9)$$

Найдем сумму доплаты за работу в праздничные дни:

$$Д_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{окл}}}{26,5} \cdot T_{\text{пр}} \cdot N_{\text{я}}, \quad (5.10)$$

$$Д_{\text{пр}} = \frac{30170}{26,5} \cdot 14 \cdot 3 = 47816,6 \text{ руб.}$$

$$Д_{\text{прем}} = 0,3 \cdot \Phi_{\text{осн}} = 0,3 \cdot 1901883 = 570564,9 \text{ руб.}$$

$$З_{осн} = 1901883 + 47816,6 + 570564,9 = 2520264,5 \text{ руб.}$$

Дополнительная ЗП принимается в размере 10 – 12% от основной ЗП:

$$З_{доп} = 2520264,5 \cdot 0,1 = 252026,45 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi ЗП = 2,5(З_{осн} + З_{доп}) = 2,5 \cdot (2520264,5 + 252026,45) = 6930727 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\begin{aligned} \Phi ЗП_{общ} &= З_{осн} + З_{всп} + З_{сл} = 11328801,8 + 6795961,25 + 6930727 \\ &= 25055490 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.7 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$$АО = C_{оф} \cdot Н / 100\%, \quad (5.11)$$

где $C_{оф}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

$Н$ – норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

$$АО = 40940000 \cdot \frac{10}{100} = 4094000 \text{ руб./год.}$$

Ремонтный фонд активной части основных средств составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{рем} = 4094000 \cdot 0,15 = 614100 \text{ руб./год.} \quad (5.12)$$

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$З_{сод} = 4094000 \cdot 0,05 = 204700 \text{ руб./год.} \quad (5.13)$$

Затраты связанные с организацией труда и техникой безопасности принимаются как 5% от полного годового фонда заработной платы:

$$З_{отитб} = 40061348,86 \cdot 0,05 = 2003067,44 \text{ руб./год.}$$

Прочие затраты составляют 15% от общих затрат на основные средства:

$$З_{\text{проч}} = 4094000 \cdot 0,15 = 614100 \text{ руб./год.}$$

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от полного годового фонда заработной платы:

$$З_{\text{соц}} = 25055490 \cdot 0,3 = 7516647 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, все рассчитанные затраты сводятся в таблицу для определения плановой себестоимости продукции в форме калькуляции себестоимости на единицу продукции и на годовой ее выпуск (Таблица 5.12).

Удельная себестоимость передела составит:

$$C_{\text{уд}} = \frac{C_{\text{с.п.}}}{П} \quad (5.14)$$

где $C_{\text{уд}}$ – удельная себестоимость передела, руб;

$C_{\text{с.п.}}$ – себестоимость передела, руб;

$П$ – производительность производства по готовой продукции, кг

$$C_{\text{уд}} = \frac{40940000}{100000} = 409,4 \frac{\text{руб}}{\text{кг}}.$$

Таблица 5.12 – Калькуляция себестоимости передела

Статьи	Ед. изм.	Цена, руб.	Норма в год	Сумма руб./год
Сырье:				
– Ti	кг	1500	5065,72	15602433,00
– Nd	кг	1800	723,67	78156,90
– H ₂	м ²	340	73612,80	19139328,00
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	2,18	2908256,88	6340000,00
Итого условно-переменные затраты				358219917,90
Фонд ЗП	руб.			25055490,00
Отчисление на социальные нужды	руб.			7516647,00

Продолжение таблицы 5.12 – Калькуляция себестоимости передела

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:				
– амортизация оборудования	руб.			4094000,00
– тек. и кап. ремонты	руб.			614100,00
– содержание оборудования	руб.			204700,00
Цеховые расходы:				
– расходы на ОТ и ТБ	руб.			2003067,44
– прочее	руб.			53732987,69
Итого условно-постоянные затраты	руб.			110319138,90
Себестоимость передела				40940000,00

Таким образом, в работе рассчитана себестоимость производства функционального материала в количестве 100 тонн в год. Рассчитаны расходы на заработную плату и на содержание и эксплуатацию оборудования. Показано, что стоимость 1 кг производимого материала (удельная себестоимость) составляет 409,4 рубля. В сравнении с другими производствами, гидридная технология является экономически выгодная.

Список публикаций студента

1 **Воробьева А. А.** Исследование кристаллических структур тетрафтороброматов натрия и рубидия / А. А. Воробьева, С. И. Ивлев // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва, Томск, 25-29 мая 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — Т. 1. — С. 26-28.

2 **Воробьева А. А.** Определение кристаллических структур тетрафтороброматов натрия и рубидия / А. А. Воробьева, С. И. Ивлев // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17-20 мая 2016 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — С. 404-405.

3 **Воробьева А. А.** Синтез и исследование физико-химических свойств гидрида диспрозия / А. А. Воробьева // Сборник тезисов, материалы Двадцать второй всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-22), 21 апреля – 28 апреля 2016, г. Екатеринбург – Ростов-на-Дону: Изд-во АСФ России. — С. 362 – 363.

4 N. S. Kudryasheva. Bioluminescent Enzymatic Assay as a Tool for Studying Antioxidant Activity and Toxicity of Bioactive Compounds / N. S. Kudryasheva, E. S. Kovel, A. S. Sachkova, **A. A. Vorobeve**, V. G. Isakova, , G. N. Churilov // Photochemistry and Photobiology. – 2016 – DOI: 10.1111/php.12639.