

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии

УДК 621.762.2:669.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	канд. техн. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
ДПК(У)-1	Способен применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) О.Ю.Ваулина

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна

Тема работы:

Исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-31/с от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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>	Объектом исследования являются образцы стали 50, полученные методом порошковой металлургии
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	– Обзор литературных источников; – Исследование микроструктуры и механических свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии; – Анализ полученных результатов; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Социальная ответственность; – Заключение и выводы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация ВКР в Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>Кащук Ирина Вадимовна, доцент, доцент ШБИП и отделения социально-гуманитарных наук</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Черемискина Марина Сергеевна, старший преподаватель ШБИП и отделения общетехнических дисциплин</i>
<i>Литературный обзор; Материалы и методы; Экспериментальная часть</i>	<i>Ваулина Ольга Юрьевна, доцент, канд. техн. наук, доцент ОМ, ИШНПТ</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ваулина Ольга Юрьевна	канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР;
2. Матрица SWOT;
3. Диаграмма Ганта;
4. Бюджет НИ;
5. Основные показатели эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	канд. техн. наук, доцент		28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна		28.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
4Б81		Ткачева Софья Валерьевна	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> образцы стали 50. <i>Область применения:</i> машиностроение; порошковая металлургия. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория/производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 52.3 м², 26 м². <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> шлифовальный станок (1 шт.), микроскоп ЛабоМет-И (1 шт.), стационарный компьютер (1 шт.), микротвердомер ПМТ-3 (1 шт.), гидравлический пресс (1 шт.), печь СШВЭ 1.25/25-И2 (1 шт.). <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> пробоподготовка поверхности образцов (шлифование, полирование), металлографические исследования структуры образцов, получение микроснимков поверхности, измерение микротвердости образцов, прессование порошковых навесок, спекание спрессованных образцов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правилам безопасности) при эксплуатации электроустановок. - ГОСТ 12.4.021. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования. - ГОСТ 12.3.004-75. Система стандартов безопасности труда. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности. - ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. - ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. - ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов.	Вредные производственные факторы: - микроклимат; - повышенный уровень шума; - недостаточная освещенность рабочего места. Опасные производственные факторы: - термические ожоги; - поражение электрическим током; - движущиеся и вращающиеся части производственных механизмов; - оседание металлических порошков в легких. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: - термостойкие/огнеупорные перчатки; - резиновые перчатки; - респиратор.

3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<i>Воздействие на селитебную зону:</i> отсутствует. <i>Воздействие на литосферу:</i> образование отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники; влияние сточных вод. <i>Воздействие на гидросферу:</i> слив сточных вод промышленного предприятия. <i>Воздействие на атмосферу:</i> выбросы газа и металлической пыли.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: пожар на территории объектов, взрыв, внезапное обрушение здания. Наиболее типичная ЧС: вероятность отравления токсичными веществами.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель (ООД, ШБИП)	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Ткачева Софья Валерьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 13 рисунков, 33 таблицы, 35 источников.

Ключевые слова: порошковая металлургия, сталь, спекание, пористость, размер зерен, микротвердость, металлографический анализ, температура спекания, насыпная плотность, нанотвердость, модуль упругости.

Объектом исследования являются образцы стали 50, полученные методом порошковой металлургии.

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии.

Работа направлена на изучение влияния параметров получения образцов методом порошковой металлургии на их структуру и свойства. Рассматривается изменение двух параметров (давление прессования и температура спекания), проведен сравнительный анализ образцов между собой и с литой сталью данного состава. Сравнение проводилось на основе измерения пористости, микротвердости, нанотвердости и модуля упругости, а также металлографического анализа образцов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: благодаря порошковой металлургии появляется возможность получать детали и изделия с такими желаемыми свойствами, которые попросту невозможно получить при помощи традиционных способов.

Область применения: машиностроение, порошковая металлургия. Порошковая металлургия может значительно сокращать себестоимость получаемых изделий за счет высокой экономии металла.

Экономическая эффективность/значимость работы: технология, рассмотренная в работе экономически более выгодна, чем аналоги.

В будущем планируется подобрать режимы для порошковой стали 50 путем варьирования давления прессования, механической активации

порошковой смеси или введения упрочняющих частиц типа карбидов или оксидов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Порошковая металлургия.....	16
1.1 Методы получения порошков.....	17
1.2 Свойства металлических порошков.....	17
1.2.1 Химические свойства	17
1.2.2 Физические свойства	18
1.2.3 Технологические свойства.....	19
1.3 Приготовление порошковых смесей.....	20
1.4 Технологический процесс изготовления изделий из порошков	22
2 Материалы и методы исследования	25
2.1 Материал исследования.....	25
2.2 Методы исследования.....	25
2.2.1 Подготовка порошковой смеси для изготовления образцов.....	25
2.2.2 Определение насыпной плотности порошковой смеси	26
2.2.3 Расчет усадки спеченных образцов	28
2.2.4 Подготовка поверхности образцов для металлографических исследований	29
2.2.5 Металлографические исследования	30
2.2.6 Измерение микротвердости на микротвердомере ПМТ-3	32
2.2.7 Измерение нанотвердости и модуля упругости на нанотвердомере G200.....	33
3 Исследование структуры и свойств литых образцов стали 50.....	36
3.1 Металлографические исследования	36
3.2 Определение микротвердости	37

4 Исследование порошковой композиции.....	39
4.1 Анализ гранулометрического состава	39
4.2 Определение насыпной плотности порошковой смеси	40
5 Исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии.....	42
5.1 Подготовка образцов к спеканию (определение режимов прессования и спекания образцов)	42
5.2 Расчет усадки образцов	44
5.3 Измерение пористости образцов	45
5.4 Металлографические исследования.....	49
5.5 Определение микротвердости	51
5.6 Определение нанотвердости и модуля упругости.....	53
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научно-исследовательского проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
6.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	56
6.1.2 SWOT-анализ	57
6.2 Планирование научно-исследовательского проекта	60
6.2.1 Структура работ в рамках научно-исследовательского проекта	60
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	61
6.2.3 Разработка графика проведения НИП	62
6.3 Бюджет научно-исследовательского проекта	66
6.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	67
6.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	67

6.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИП	69
6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИП	70
6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	71
6.3.6 Накладные расходы	71
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективностиисследования.....	72
7 Социальная ответственность	77
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
7.2 Производственная безопасность	80
7.3 Экологическая безопасность.....	84
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Порошковая металлургия применяется для изготовления изделий из порошков металлов путем их спекания. Данная область промышленности довольно вариативна, так как существует возможность получения изделий с любыми требуемыми и возможными свойствами, например, твердость, прочность, износостойкость, жаропрочность и т.д. Еще одним достоинством порошковой металлургии является экономичное использование металла, что позволяет значительно снизить себестоимость готовой продукции.

Главное отличие метода порошковой металлургии над традиционным методом литья является возможность получения деталей с такими свойствами, которые невозможно достигнуть литьем. Развитие порошковой металлургии произошло благодаря ее относительно простым операциям, который не умоляет высококачественный результат.

Освоение технологии получения различных порошков послужило толчком развитию работ в области производства спеченных изделий конструкционного назначения. Кроме того, были проведены обширные исследования для создания научной базы порошкового металловедения и порошковой металлургии [1].

Спрос на конструкционную сталь 50 зафиксирован в таких отраслях, как машиностроение, станкостроение, автомобильная, тракторная промышленность и другие.

Детали, изготовленные из стали 50, долговечны и обладают высокой износостойкостью при трении при своей относительно невысокой стоимости. Поэтому данная сталь может использоваться в качестве бюджетного аналога высококачественных нержавеющей марок.

Данная работа направлена на сравнение микроструктуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии, между собой и с литой сталью данного состава. Среди образцов, полученных методом

порошковой металлургии, сравнение проводилось при разных условиях прессования и спекания.

1 Порошковая металлургия

1.1 Методы получения порошков

Все существующие методы производства металлических порошков условно делятся на две большие группы, а именно, механические, при которых химический состав исходного материала существенно не изменяется, и физико-химические методы. С целью улучшения характеристик получаемого порошка возможно применение комбинированных методов.

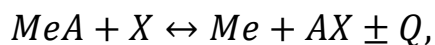
Механическое измельчение характеризует уменьшение исходного размера частиц порошка благодаря разрушающему действию внешних сил, преодолевающих внутренние силы сцепления. Данный метод нашел наиболее широкое применение в производстве порошков хрупких металлов, таких как, хром, кремний, марганец, бериллий, сурьма, ферросплавы, сплавы алюминия с магнием и другие. При измельчении удар суммируется с раздавливанием в случае, если необходимо получить крупные частицы, и с истиранием для достижения более мелкого измельчения [1].

Суть данного процесса заключается в том, что вся энергия при дроблении расходуется на деформацию, под действием сил которой в наиболее слабых местах тела появляются микротрещины. Затем наблюдается рост этих трещин, и когда размеры трещины сравнимы с размерами твердого тела, происходит разрушение. В этот момент величина напряжений в теле превышает предел прочности данного материала, упругая деформация превращается в деформацию разрушения и таким образом происходит измельчение [2].

Наиболее широко среди механических методов производства порошков применяется дробление металла в шаровых, молотковых, вихревых и других типах мельниц.

При физико-химическом методе дробления изменяется химический состав первоначального материала. Этот процесс включает в себя: восстановление металлов из оксидов или солей, электролиз водных растворов и расплавленных солей, диссоциацию карбониллов.

На практике используются наиболее часто методы извлечения металлов из оксидов и других соединений. Реакция восстановления металла из его соединения выглядит следующим образом:



где Me – металл, порошок которого должен быть получен; A – неметаллический компонент (кислород, хлор, фтор, остаток соли и т. д.) восстановленного химического соединения MeA ; X – восстановитель; Q – тепловой эффект реакции [1].

Если вещество не обладает высоким химическим сродством к элементам, содержащимся в исходном соединении, например, к кислороду, фтору, хлору и другим, то оно не может выступать в качестве восстановителя. Железный порошок в промышленности получают методом восстановления. При этом производством сырья служит окалина, а функции восстановителя выполняют окись углерода, древесный уголь и гранулированная сажа [3].

1.2 Свойства металлических порошков

1.2.1 Химические свойства

В химический состав металлических порошков входит основной металл, примеси и загрязнения или газы. Удовлетворительной чистотой порошковых металлов являются порошки с процентным содержанием основного металла 98–99%. Содержание кислорода считается допустимым при 0,2–1,5%, а процентное соотношение окислов порядка 1–10%. Это объясняется тем, что многие механические и эксплуатационные свойства обратно пропорциональны содержанию окислов. При увеличении присутствия окислов, таких как хром, марганец, кремний, титан, алюминий и других, в порошке металла, прессуемость и прочность образцов снижается, процесс спекания многократно усложняется.

Нежелательно большое количество газа (кислорода, водорода, азота и других) в составе порошка, так как это развивает хрупкость, затрудняет прессование, также возможно коробление готовых изделий при выделении данных газов в процессе спекания. Чем мелкодисперснее металлический порошок, тем большее количество газов он может адсорбировать [4].

Некоторые порошки способны самовозгораться при соприкосновении с воздухом, например, тонкие порошки железа, кобальта, циркония и некоторых других металлов. Описанное свойство является пирофорным и характерно для большинства металлов и сплавов с относительно низким пределом взрыва, что может привести к взрыву частиц пыли из металлического порошка, плавающих в воздухе.

Очень важной особенностью порошков является их токсичность. Даже если металл безвреден в компактном состоянии, его пыль негативно влияет на организм человека и, следовательно, может вызвать патологические заболевания. Следовательно, максимально допустимые концентрации (мг/м^3) металлических аэрозолей и их соединений строго регулируются в производстве [1].

1.2.2 Физические свойства

Одной из наиболее важных характеристик металлического порошка является форма его частиц. Она разнообразна и в основном зависит от метода производства:

- сферическая (из карбонила, распыление);
- губчатая (восстановление);
- осколочная (дробление в шаровых мельницах);
- тарельчатая (вихревое шлифование);
- дендритная (электролиз);
- плоская или чешуйчатая (шлифовка в полозьях).

Форма частиц важна, поскольку она, в свою очередь, влияет на насыпную плотность, прессуемость и податливость порошка, другими словами, плотность, прочность и однородность прессования [5].

В зависимости от типа производства порошка размер частиц может варьироваться от доли микрометра до 0,5–1 мм. Принимая во внимание размер частиц порошка, в сочетании с другими его параметрами выбирается конкретное давление прессования. Это необходимо для достижения заданной пористости, усадки материала при спекании и механических свойств готовой продукции.

Каждый металлический порошок имеет свой собственный гранулометрический состав, другими словами, отношение количественного содержания частиц в определенных фракциях к суммарному количеству порошка. К одной фракции относится определенный диапазон размеров частиц порошка между их наибольшим и наименьшим значениями [4].

Важным свойством для оценки технологических свойств металлических порошков, таких как сжимаемость, является деформируемость металла. Пластичность порошка во многом определяет возможность уплотнения при прессовании, прочность брикетов, желаемую производительность формовочной техники, возможность увеличения времени работы использования пресс-форм и т.д. Удобным показателем пластичности порошка является микротвердость его частиц.

1.2.3 Технологические свойства

Объемная плотность, она же насыпная, есть масса единицы объема свободно насыпанного порошка и является объемной характеристикой. Она определяется фактической плотностью данного металла и плотностью укладки его частиц в заданном объеме, то есть фактическим заполнением объема. Чем больше и правильнее частицы порошка и чем они компактнее расположены, тем больше объемная плотность.

Усадка при спекании тесно связана с насыпной плотностью порошка, поскольку она отражает гранулометрический состав порошка. Чем ниже объемная плотность, тем больше усадка [6]. Относительный объем показывает, во сколько раз объем порошка превышает удельный объем компактного металла.

Текучесть порошка – это способность вытекать из отверстий с определенной скоростью. Это очень важно с производственной точки зрения, чтобы обеспечить быструю и непрерывную подачу суспензии в формы и хорошо заполнить сложные формы [4]. Окисление порошков обычно увеличивает текучесть, поскольку это снижает коэффициент трения и сглаживает поверхностную шероховатость частиц [6].

Принимая во внимание способность порошка к сжатию, с одной стороны, это способность сжиматься (сжимаемость), а с другой стороны, способность сохранять форму после прессования (формуемость). Сжимаемость в основном зависит от пластичности частиц порошка и в меньшей степени зависит от размера и формы частиц. Однако, податливость в основном зависит от формы и состояния поверхности частиц: частицы с развитой шероховатой поверхностью дендритной формы дают порошки с хорошей формируемостью [4]. Чем выше насыпная плотность порошка, тем хуже (в большинстве случаев) его податливость и тем лучше прессуемость.

1.3 Приготовление порошковых смесей

Чтобы обеспечить производство продуктов с желаемыми свойствами, необходимы специальные этапы подготовки, чтобы придать порошку определенные физические, химические и технологические свойства. Однако, основными этапами подготовки порошков к формованию являются отжиг, просеивание и смешивание.

Отжиг – это тип порошковой обработки, используемый для повышения их пластичности и, таким образом, улучшения уплотнения,

сжимаемости и податливости. В процессе отжига наклеп устраняется, то есть устраняется искажение кристаллической решетки металла в поверхностных слоях частиц. Нагревание проводят в защитной среде (инертной, восстановительной или вакуумной) при температуре $0,4-0,6 T_{пл}$ металлического порошка. Чаще всего порошки, содержащие большое количество оксидов, растворенных газов и большинство заклепок, подвергаются отжигу [4].

Классификация или просеивание понимается как разделение порошков по размеру частиц на фракции. На практике классификация с помощью сита чаще всего используется в порошковой металлургии. Для этой цели используются различные типы сит, в основном с вытяжной вентиляцией с электромагнитными или рычажными вибрирующими устройствами. Классификация порошков с размером частиц менее 40–50 мкм осуществляется с использованием сепараторов, в которых твердые вещества осаждаются из потока газа-носителя под действием силы тяжести.

Способ получения однородной механической смеси порошков различного химического и гранулометрического состава, а также их смесей с неметаллическими порошками называется смешиванием. Скорость и результат смешивания зависят от многих параметров: формы и размера частиц, гранулометрического состава, соотношения смеси, плотности, коэффициента трения между частицами и т.д.

Фактическая продолжительность смешивания, исходя из практического опыта, составляет от одного до нескольких часов, но через 3 часа однородность смешивания существенно не меняется. Механическое смешивание компонентов в шаровых мельницах является наиболее распространенным явлением. Наиболее часто используемыми средами для смешивания порошков являются газ (чаще всего инертный) и жидкость (вода, спирт, бензин и т.д.) [1].

Контроль результатов смешивания осуществляется либо по физико-технологическим свойствам шихты, либо по химическому анализу образцов.

Приготовление порошковой смеси завершает цикл подготовки порошка к формованию.

1.4 Технологический процесс изготовления изделий из порошков

Технологический процесс изготовления деталей или заготовок из порошков может быть упрощен в виде следующих шагов:

1. Подготовка порошковой смеси необходимого состава;
2. Получение уплотненного полуфабриката;
3. Спекание;
4. Постобработка спеченного продукта (механическая обработка, пропитка, напыление покрытия, калибровка и т.д.).

Подготовка смеси необходимого состава. Дозировка шихты производится по весу и объему. В зависимости от выбранного метода дозирования доза рассчитывается по формулам:

$$M = \rho \cdot V_{\text{дет}} \cdot \left(1 - \frac{P}{100}\right) \cdot K,$$
$$V_{\text{нас}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot V_{\text{дет}} \cdot \left(1 - \frac{P}{100}\right) \cdot K;$$

где M – весовое значение груза, г; Объем $V_{\text{нас}}$, см³; $V_{\text{нас}}$ – насыпной объем, см³; $V_{\text{дет}}$ – объем готовой детали, см³; P – заданная пористость готовой детали, %; K – коэффициент, учитывающий потери при прессовании и спекании ($K=1,04$).

$$K = K_1 \cdot K_2,$$

где $K_1=1,005-1,01$ – коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании и зависящий от точности изготовления формы; $K_2=1,01-1,03$ – коэффициент, учитывающий потери порошка при спекании в результате выгорания добавок и примесей.

Получение компактного полуфабриката. Формование деталей осуществляется методом прессования. Формы состоят из матрицы и пуансонов для создания необходимого давления в толщине прессованного

порошка, а также из стержней (вставок) для образования различных полостей [8].

В качестве технологического оборудования для прессования используются универсальные гидравлические прессы с рабочим движением напорного поршня. Они допускают как односторонние, так и двусторонние схемы прессования. Двухсторонняя схема используется как для прессования деталей относительно сложных конфигураций, так и в тех случаях, когда высота экструдированной детали больше ее поперечного размера. Формы, которые вы разрабатываете, должны обеспечивать один из двух возможных способов прессования: "под давлением" или "до упора".

Цикл установки должен начинаться с заполнения прессованного порошка в полость, образованную матрицей, стержнем, загрузочной камерой и нижним штампом. Затем начинается опускание верхнего стержня с помощью прессующего пуансона. Затем происходит фактическое прессование, и его двусторонний характер обеспечивается одновременным движением печатного штампа и матрицы со стержнем. Брикет допрессовывается при статичном нижнем пуансоне.

Наконец, спрессованная часть удаляется из полости формы, для этого прессующий пуансон перемещается вверх, перемещая матрицу вместе со стержнем вниз нижним стержнем. В самом нижнем положении матрицы со стержнем брикет высвобождается. Брикет остается на неподвижном нижнем штампе, а затем удаляется из области прессования [9].

Спекание. Спекание – это операция по уплотнению и отверждению пористых порошковых продуктов путем термической обработки, которая сопровождается увеличением плотности и усадки, уменьшением пористости, изменением механических и физико-химических свойств материала и приближением их к свойствам компактного материала. Формованная заготовка имеет пористость 25–60% до спекания и 10–15% после спекания [10].

В процессе спекания адгезия частиц порошка происходит за счет взаимной диффузии атомов. Характерными особенностями спекания являются:

- эффект затвердевания и изменение физико-механических свойств, связанных с изменением размера и качества зон контакта между частицами;
- изменения в микроструктуре детали (рост зерна, форма и количество пор и т.д.).

Спекание деталей происходит в водородных или вакуумных печах.

Температура спекания $t_{сп}$ определяется формулой:

$$t_{сп} = 0,7t_{пл},$$

где $t_{пл}$ – температура плавления основного компонента сплава, °С.

Процесс спекания включает в себя три этапа:

- 1) начальный нагрев до 100–200 °С для удаления влаги;
- 2) промежуточный нагрев от 100–200 °С до $0,5 \cdot t_{пл}$ для снятия упругих напряжений и активации адгезии частиц);
- 3) конечное нагревание до температуры спекания, при котором происходит восстановление оксидных пленок в защитной или нейтральной среде и полное склеивание частиц.

Время выдержки после достижения конечной температуры спекания составляет несколько часов.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Материал исследования

Материалом исследования является порошковая сталь 50, химический состав которой представлен в таблице 1 [13].

Для исследования были смешаны порошки железа, углерода, хрома, никеля и меди общей массой смеси 200 г. Для получения однородного состава порошков, их обязательно нужно просеять: разделение металлических частиц через специальные сита. Только после просеивания порошка приступить к приготовлению смеси порошков необходимого состава.

Температура критических точек: $A_{C1} = 725^{\circ}\text{C}$, $A_{C3}(A_{cm}) = 760^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 690^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1 – Химический состав порошковой стали 50

Элемент	Массовая доля, %
Fe	98,85
C	0,50
Ni	0,30
Cr	0,25
Cu	0,30

2.2 Методы исследования

2.2.1 Подготовка порошковой смеси для изготовления образцов

Сначала подготавливаем порошковую композицию для изготовления порошковой стали 50. Для этого необходимо к промышленному порошку карбонильного железа добавить порошок углерода, хрома, никеля и меди в соответствии с установленными пропорциями, таблица 1, смешиваем для равномерного распределения элементов в смесителе типа «пьяная бочка», рисунок 1.

Процесс смешивания происходит в смесителе в течение 12 часов. Смешивание проводят до получения однородной механической смеси металлических порошков.

Затем к порошковой смеси добавляют пластификатор для улучшения пластичности и формуемости. В данной работе в роли связующего выступает глицерин. Глицерин был добавлен к навескам порошка (по 3,5 г каждая) в различном количестве, определяемом в каплях, для наглядного установления наилучшего соотношения для изготовления образцов, таблица 2.

Таблица 2 – Количество добавленного пластификатора (глицерина)

Номер образца	Количество глицерина, капли	Визуальное описание полученной смеси
1	6	Смесь напоминает мокрый песок, легко деформируется и держит форму
2	8	Смесь так же напоминает мокрый песок, легко деформируется и держит форму
3	10	Смесь выглядит более жидкой, менее способна сохранять форму
4	12	Смесь напоминает жижу, расплывается и не держит форму

Затем сырье загружается в пресс-форму для прессования на гидравлическом прессе. Получаем образец желаемой формы.

2.2.2 Определение насыпной плотности порошковой смеси

Для определения насыпной плотности порошок медленно пропускают через воронку с выпускным отверстием небольшого диаметра до тех пор, пока контейнер, металлический цилиндр, не будет полностью заполнен и до того, как порошок будет выливаться, рисунок 1.



Рисунок 1 – Прибор для определения насыпной плотности порошка

Используя немагнитную линейку, необходимо сровнять поверхность порошка с поверхностью контейнера, не прикладывая сильного давления. Убедитесь, что контейнер не дрожит и не вибрирует, и линейку необходимо поворачивать так, чтобы край был обращен к верхнему краю контейнера [14].

После выравнивания поверхности порошка нужно осторожно постучать по контейнеру, чтобы порошок осел для следующего перемещения, и удалить лишний порошок, который мог прилипнуть к внешней поверхности цилиндра.

Далее насыпную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m}{V},$$

где m – масса испытуемого порошка в емкости (цилиндре), г; V – вместимость емкости, см³.

Массу испытуемого порошка вычисляют по формуле:

$$m = m_1 - m_2,$$

где m_1 – масса емкости с порошком, г; m_2 – масса емкости, г.

2.2.3 Расчет усадки спеченных образцов

Усадка – это изменение размера нагретого порошкового тела во время спекания. Размер усадки – это отношение разницы между начальным и конечным параметрами к исходному параметру, выраженное в процентах или долях [15]. Она может быть объемной или линейной и определяется следующим образом:

$$V = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100\% \text{ или } H = \frac{H_1 - H_0}{H_0} \cdot 100\%,$$

где V_0 – объем прессовки до спекания, V_1 – объем прессовки после спекания, H_0 – высота прессовки до спекания, H_1 – высота прессовки после спекания.

Как правило, во время спекания пористость уменьшается, соответственно, плотность продуктов увеличивается. В течение первой фазы спекания (100–150 °С) пары и газы, адсорбированные на металлических частицах, удаляются, смазочные материалы испаряются или сгорают, а упругие напряжения снимаются. При увеличении температуры (0,4–0,5 $T_{пл}$) завершается удаление упругих напряжений, продолжается дегазация и сгорание смазки и связующего, восстанавливается оксидная пленка, в результате чего металлические контакты заменяют неметаллические и увеличивают свою площадь. При температуре около 0,7–0,9 $T_{пл}$ восстановление оксидов завершается, теперь контакты между частицами – полностью металлические, поверхность частиц – гладкая, поры принимают форму шара, и происходит окончательное отверждение.

Процесс усадки имеет тенденцию уменьшения поверхностного запаса энергии системы, что возможно только при уменьшении общей площади частиц порошка. Следовательно, порошки с сильно развитой поверхностью имеют большую скорость уплотнения при спекании, поскольку они обладают большим количеством поверхностной энергии. Когда температура прессовок увеличивается и поддерживается определенное количество

времени, усадка происходит стремительно в начальный момент, а затем постепенно замедляется и почти прекращается. Такая последовательность имеет место при каждом новом повышении температуры и объясняется тем, что поверхностная энергия зависит от размера и состояния поверхности частиц или количества дефектов на единицу площади. В начальный момент повышения температуры имеется большое количество дефектов, но каждая частица имеет тенденцию избавляться от них, и усадка происходит быстро. Затем количество дефектов становится равным равновесному для этих условий, и усадка заканчивается [15].

2.2.4 Подготовка поверхности образцов для металлографических исследований

Подготовка поверхности образцов – это комплекс работ, посвященных подготовке металлических образцов для дальнейших микроструктурных исследований, а также для изучения физико-механических свойств.

Шлифовка поверхности образца – это механическая обработка металла, которая необходима для достижения наименьшей шероховатости образца.

Процесс работы на шлифовальном станке начинается с подготовки шлифовальной бумаги и крепежного кольца. Для образцов использовались абразивные материалы зернистостью от 180 до 2500.

В процессе шлифовки образец металла может сильно нагреваться, изменяя начальную структуру. Поэтому необходимо контролировать силу нажима образца на шлифовальную бумагу в процессе шлифовки.

На шлифовально-полировочном станке можно выбрать подходящую скорость вращения дисков. Выбор скорости и длительность времени процесса шлифовки зависит от исследуемого образца и желаемой толщины.

При непосредственном процессе шлифовки рекомендуется перемещать образец от края диска к центру, это позволит удалить воздух между шлифовальной бумагой и образцом. Далее образец следует держать на одном месте несколько секунд, для того чтобы все риски на его поверхности были одинаково направлены и параллельны между собой. В процессе шлифовки необходимо переходить от грубой абразивной бумаге к бумаге с меньшей зернистостью.

Полировка поверхности образца – это заключительный этап механической обработки материалов при помощи мелких абразивов. Главной целью полировки является придание обрабатываемой поверхности образца зеркального отражения.

Травление – это процесс удаления с поверхности образца окислов при воздействии на нее различных кислот или травящих реагентов.

Для травления поверхности металлических изделий применяют травильные растворы, главным образом из серной, азотной и соляной кислот. В моем случае для процесса травления использовалась смесь концентрированной азотной кислоты HNO_3 и спирта в соотношении 10% и 90% соответственно. Готовый (отполированный) образец следует держать отполированной поверхностью вверх, и с помощью ватной палочки аккуратно смачивать ее травящим раствором. За истечением определённого времени, которое зависит от материала образцов, следует почистить до получения относительно чистой поверхности, далее промыть проточной водой и высушить.

2.2.5 Металлографические исследования

Микроскоп серии ЛабоМет-И, рисунок 2, компактный и удобный для образовательных целей. Чтобы отрегулировать микроскоп и получить изображение микроструктуры исследуемого материала, микрошлиф необходимо установить на предметное стекло микроскопа подготовленной

поверхностью вниз – на световой поток. Когда вы смотрите через окуляр, вам нужно повернуть винт (к себе – от себя), пока очертания микроструктуры не появятся в поле зрения окуляра, а затем повернуть винт, чтобы достичь резкости изображения. Если вы хотите выбрать наиболее характерный участок микроструктуры для исследования, используйте винты с рукоятками, чтобы поочередно перемещать предметный стол в перпендикулярных направлениях [16].



Рисунок 2 – Микроскоп ЛабоМет-И

В этой работе пористость спеченных образцов определяется линейным анализом. Такой анализ может быть использован не только для определения пористости, но и для расчета относительного содержания различных фаз. Принцип линейного анализа заключается в наложении семейства прямых на исследуемую микроструктуру.

Этот анализ основан на том положении, что относительная длина сегментов (линий), которые пересекают исследуемую область микроструктуры и попадают на участки этой фазы, равна объемной доле этой фазы:

$$P_{\alpha} = \frac{l_{\alpha}}{l} \cdot 100\%,$$

где l_α – суммарная длина отрезков случайной секущей линии, проходящих через участки исследуемой фазы α ; l – полная длина секущей линии, проходящей через исследуемое поле [17].

2.2.6 Измерение микротвердости на микротвердомере ПМТ-3

Микротвердость – единственный метод, с помощью которого возможно определить твердость фаз или других структур многокомпонентных сплавов, а также решить проблемы, связанные с влиянием отдельных компонентов на упрочнение. Этот метод также может быть использован для определения того, какие компоненты сплава являются основными для упрочнения сплава [18].

Для измерения микротвердости используется пирамидка, геометрически идентичная той, что используется при измерении твердости по Виккерсу. Отсюда можно сделать вывод, что главный смысл и единицы измерения у данных методов совпадают. Однако имеет одно отличие, и оно состоит в величине приложенной нагрузки: измерение микротвердости выполняется с небольшими нагрузками: от 5 до 200 г [10], в моем случае нагрузка составляет 50 г. Соответственно, после индентирования остаются отпечатки очень маленького размера, чем размеры отдельных фаз, что позволяет определить их твердость. Измерение производится на установке ПМТ-3, рисунок 3 [19].

Значение микротвердости определяется либо по таблице, соответствующей приложенному нагружению, либо вычисляется по формуле:

$$HV = \frac{1,854 \cdot P}{d^2}, \left[\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \right].$$



Рисунок 3 – Микротвердомер ПМТ-3

Все известные методы определения твердости: по Роквеллу, Бринеллу, Виккерсу, позволяют измерить среднее сопротивление материала индентированию. Однако, чтобы определить твердость отдельных структурных составляющих или же твердость тонкого поверхностного слоя, необходимо применить небольшие нагрузки вдавливания. Под структурным компонентом (фазой) следует понимать однородную часть системы, которая может представлять собой сложную структуру и может быть неоднородной на более низком масштабном уровне (при большем увеличении).

2.2.7 Измерение нанотвердости и модуля упругости на нанотвердомере G200

Для определения нанотвердости и модуля упругости исследуемых образцов использовался прибор NanoIndenter G200. В данной работе индентирование производилось с помощью пирамиды Берковича при нагрузке 250 мН (25 г). Уникальность и преимущество данной установки состоит в возможности отображения диаграмм внедрения пирамидки в режиме реального времени. Для описания процесса погружения индентора графики строятся в координатных осях: зависимость глубины внедрения от прикладываемой нагрузки. Как результат, программное обеспечение

установки автоматически рассчитывает модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии с ISO 14577 [20].



Рисунок 4 – Прибор NanoIndenter G200

Образование характерного отпечатка на глубине h_c после внедрения индентора обусловлено локальными упругой и пластической деформациями. Таким образом, появляется возможность измерения упругих свойств исследуемого образца, так как упругая деформация исчезает после снятия нагрузки.

Описанные выше графики кривых «величина нагрузки – глубина внедрения индентора» представлены в экспериментальной части работы, однако пример можно увидеть на рисунке 5. В соответствии с построенными диаграммами можно определить следующие показатели: пиковая нагрузка P_{max} и глубина ввода индентора h_{max} , остаточная глубина после нагрузки h_f и наклон начальной секции кривой разгрузки $S = dP/dh$, характеризующая упругую контактную жесткость.

Если в качестве индентора использовалась пирамида Берковича с треугольной геометрией, то твердость исследуемого материала H определяется:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \cdot \frac{P}{h_{max}^2},$$

где P – нагрузка, приложенная к поверхности образца, Н; A – площадь отпечатка под нагрузкой, mm^2 ; h_{max} – глубина ввода индентора, мм.

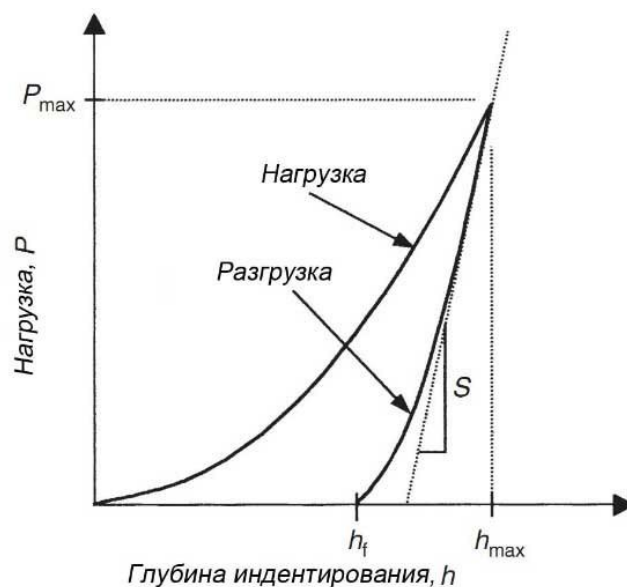


Рисунок 5 – Принцип построения диаграмм внедрения при наноиндентировании

Чтобы определить модуль упругости тестируемого образца E , нужно сначала рассчитать модуль E_r по формуле:

$$E_r = \frac{S\sqrt{\pi}}{2\beta\sqrt{A}}$$

В данном случае β – константа, которая зависит от геометрии индентора. Для осесимметричного индентора $\beta = 1$, для квадратного поперечного индентора (пирамида Виккерса) $\beta = 1,012$, для треугольного поперечного сечения (пирамида Берковича) $\beta = 1,034$. Наконец, модуль упругости исследуемого материала E рассчитывается следующим образом:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1 - \nu^2)}{E} + \frac{(1 - \nu_i^2)}{E_i},$$

где ν – коэффициент Пуассона исследуемого материала, E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона внедряемого материала. Для алмаза $E_i = 1141$ ГПа и $\nu_i = 0,07$ [20].

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках научно-исследовательского проекта. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

В связи с тем, что экономика является неотъемлемой, постоянной и динамически развивающейся частью жизни, возникает необходимость непрерывно проводить исследование и мониторинг рынка. Поиск конкурирующих проектов позволяет определить необходимость и значимость новых разработок, а также их эффективность в случае успешной реализации конечного продукта.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательского проекта;
- расчет бюджета научно-исследовательского проекта;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – исследование структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии.

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научно-исследовательского проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Анализ конкурентных технических решений

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.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. В данной работе рассмотрены образцы стали 50, полученные методом порошковой металлургии (ПМ).

Вариант 1 – Образец полученный методом порошковой металлургии (ПМ), вариант 2 – Литой образец.

Для проведения оценки их сравнительной эффективности составлена оценочная карта, приведенная в таблице 11.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Как видно из оценочной карты, большей конкурентной способностью обладает образец № 1.

Таблица 11 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Var ₁	Var ₂	Var ₁	Var ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Микротвёрдость	0,35	5	3	1,75	1,05
2. Пористость	0,20	3	5	0,60	1,00
3. Простота изготовления	0,08	4	3	0,32	0,24
4. Материалоемкость	0,10	5	2	0,50	0,20
5. Безопасность	0,08	4	2	0,32	0,16
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена сырья	0,09	5	2	0,18	0,18
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	4	0,16	0,16
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,06	5	3	0,30	0,18
Итого	1	35	24	4,13	3,17

6.1.2 SWOT-анализ

Для комплексной оценки научно-исследовательского проекта применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 12.

Таблица 12 – SWOT-анализ изделий полученных методом ПМ

Сильные стороны	Возможности
S1: Высокий коэффициент использования материала;	O1: Возможность использования в разных отраслях производства;

S2: Широкий выбор свойств; S3: Высокая производительность метода; S4: Экологичность технологии; S5: Возможность автоматизации производства изделий.	O2: Актуальность работы не только в России, но и за рубежом; O3: Появление большего спроса с развитием технологии.
Слабые стороны	Угрозы
W1: Ограничения параметров изделий; W2: Высокая себестоимость.	T1: Недостаточное финансирование; T2: Дополнительный контроль со стороны государства.

Таблица 13 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5
O1	+	+	+	+	+
O2	+	+	+	+	+
O3	+	+	+	+	+

Таблица 14 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2
O1	+	+
O2	+	-
O3	-	-

Таблица 15 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5
T1	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	-

Таблица 16 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2
T1	-	+
T2	+	+

Результаты анализа представлены в итоговой таблице 17.

Таблица 17 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта S1: Высокий коэффициент использования материала; S2: Широкий выбор свойств; S3: Высокая производительность метода; S4: Экологичность технологии; S5: Возможность автоматизации производства изделий.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта W1: Ограничения параметров изделий; W2: Высокая себестоимость.
Возможности O1: Возможность использования в разных отраслях производства; O2: Актуальность работы не только в России, но и за рубежом; O3: Появление большего спроса с развитием технологии.	Направления развития O1O3S2S3: Широкий диапазон свойств и высокая производительность метода ПМ позволяет расширить спрос продукции не только в промышленном производстве, но и для бытовых товаров. O2O3S3S4: Благодаря высокой производительности и экологичности метода производства появляется возможность экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.	Сдерживающие факторы W1O1: Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследования также может обеспечить более широкую размерную линейку изготавливаемых изделий. W2O2O3: Развитие технологии и заинтересованность в ней за рубежом может обеспечить полное или частичное финансирование проведения исследований.
Угрозы T1: Недостаточное финансирование; T2: Дополнительный контроль со стороны государства.	Угрозы развития S2S3T1: Сравнения свойства нашей продукции и продукции конкурентов, мы имеем заметно высшие показатели и больше перспектив развития, поэтому мы в приоритете у спонсоров.	Уязвимости W1T2: Введение систем совершенствования производственных процессов для увеличения размерной сетки, при этом обеспечивая снижение погрешности и неопределенности.

6.2 Планирование научно-исследовательского проекта

6.2.1 Структура работ в рамках научно-исследовательского проекта

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках научно-исследовательского проекта;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного научно-исследовательского проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель НИП и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Планирование НИП – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных ресурсов.

Перечень основных этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель НИП
Выбор направления исследований	2	Изучение поставленной задачи и поиск литературного обзора по теме	Руководитель НИП
	3	Выбор направления исследования	Руководитель НИП

	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель НИП
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка порошковой смеси	Инженер
	6	Формование спекание	Инженер
	7	Исследование образцов	Инженер
	8	Анализ полученных данных	Инженер
Обобщение и оценка результатов, оформление отчёта по НИП	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель НИП, инженер
	10	Определение целесообразности проведения НИП	Руководитель НИП, инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данной работе трудовые затраты образуют основную часть стоимости научно-исследовательского проекта. Поэтому немаловажным является определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость носит стохастический характер, данную величину можно определить экспертным путем в «человеко-днях».

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ определяется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{min\ i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств), чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем выполняемым работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице.

6.2.3 Разработка графика проведения НИП

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма состоит из блоков, расположенных на двух осях: по вертикали располагаются задачи, из которых состоит проект, а время, запланированное на их выполнение, служит горизонтальной осью диаграммы Ганта. Для построения графика Ганта следует длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ки.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работы на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел. -дн.},$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож } i}}{\text{Ч}_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб. дн.} \approx 3 \text{ раб. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя НИП):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$T_{\text{кi.рук}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал.рук}} = 2,8 \cdot 1,28 = 3,58 \approx 4 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 19, на основе этих расчетов строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 20.

Таблица 19 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1.Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
2.Изучение поставленной задачи и поиск литературного обзора по теме	-	22	-	27	-	24	-	24	-	35
3.Выбор направления исследований	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2	-
4.Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
5.Подготовка порошковой смеси	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
6.Формование, спекание	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
7.Исследование образцов	-	3	-	6	-	4,2	-	4,2	-	6
8.Анализ полученных данных	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4

9.Оценка эффективности полученных результатов	1	2	2	3	1,4	2,4	0,7	1,2	1	2
10.Определение целесообразности проведения НИП	3	3	6	7	4,2	4,6	2,1	2,3	3	4
11.Составление пояснительной записки	-	13	-	16	-	14,2	-	14,2	-	21

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

Таблица 20 – Календарный план график проведения НИП

№	Вид работ	Исп.	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1	4												
2	Изучение поставленной задачи и поиск литературного обзора по теме	Исп2	35												
3	Выбор направления исследований	Исп1	2												
4	Календарное планирование работ по проекту	Исп1	4												
5	Подготовка порошковой смеси	Исп2	6												
6	Формование, спекание	Исп2	5												
7	Исследование образцов	Исп2	6												
8	Анализ полученных данных	Исп2	4												
9	Оценка эффективности полученных результатов	Исп1 Исп2	3												
10	Определение целесообразности проведения НИП	Исп1 Исп2	7												
11	Составление пояснительной записки	Исп2	21												

ИТОГО: $T_k = 97$.

В результате выполнения данного подраздела разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя НИП и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из участников проекта.

Таблица 21 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	97
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	83
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель НИП	14

6.3 Бюджет научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых затрат (расходов), необходимых для его выполнения:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ);
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

6.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты – это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении образцов стали 50 методом порошковой металлургии. Результаты расчета затрат представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на изготовление образцов из порошковой смеси стали 50

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок железа	кг	0,5	500	250
Графитовый порошок	кг	0,1	1000	100
Никелевый порошок	кг	0,1	2600	260
Медный порошок	кг	0,1	1400	140
Хромовый порошок	кг	0,1	800	80
Глицерин	мл	100	8	80
Абразивная бумага	шт.	6	100	600
Перчатки технические	пар.	1	12	12
Респиратор	шт.	1	23	23
Расходная бумага	шт.	100	2,5	250
Итого:				1795

6.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных

расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался компьютер со встроенной программой SIAMS и всем необходимым программным обеспечением для исследовательской работы.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 23 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	1	5	50	50
Итого:		50 тыс. руб.			

Рассчитаем норму амортизации для компьютера, с учетом того, что срок полезного использования составляет 5 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 50000}{12} \cdot 3 = 2500 \text{ руб.}$$

6.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИП

В данном разделе рассчитывается основная заработная плата инженера и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя НИП):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

- для инженера:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; $k_{р}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 24 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИП	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	9,8	21043,5
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	55,7	97090,7
Итого:								118134,2

6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИП

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя НИП:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 21043,5 = 3156,5 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 97090,7 = 14563,6 \text{ руб.};$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

6.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя НИП:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (21043,5 + 3156,5) = 7260 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (97090,7 + 14563,6) = 33496,3 \text{ руб.};$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

6.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для рас-чета накладных расходов.

Таблица 26 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
2500	1795	118134,2	17720,1	40756,3	180905,6

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{пр},$$

где $k_{пр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование

структуры и свойств образцов стали 50, полученных методом порошковой металлургии» по форме, приведенной в таблице 27. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 27 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
		Текущий проект	Исп.2	
1	Материальные затраты НИП	1795	4027	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	2500	7208	Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	118134,2	118134,2	Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17720,1	17720,1	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	40756,3	40756,3	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	36181,1	36181,1	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИП		217086,7	224026,7	Сумма ст. 1-6

6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. В качестве аналога данной НИР рассмотрен стандартный литой образец стали 50.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{фин.р.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{фин.р.}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 217086,7 \text{ руб.}, \Phi_{\text{исп.2}} = 224026,7 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{фин.р.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{217086,7}{224026,7} = 0,97;$$

$$I_{\text{фин.р.}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{224026,7}{224026,7} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 28).

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	3
2. Стабильность работы	0,2	4	4
3. Технические характеристики	0,2	4	5
4. Механические свойства	0,3	5	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	2
ИТОГО	1	4,45	3,75

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,45;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 = 3,75.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{фин.р.}}};$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,45}{0,97} = 4,59; I_{\text{исп.2}} = \frac{3,75}{1} = 3,75.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 29).

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,59	3,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,82

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 97 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 83 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 14 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 217086,7 руб.;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,97, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 3,75;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,59, по сравнению с 3,75, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.