

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 влияния скорости нагружения на кинетику деформационных процессов поликристаллического никеля

УДК 620.172.21:538.95:669.248

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Просолов Андрей Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильева Инесса Эдвиновна	-		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Баранникова Светлана Александровна	д-р физ.-мат. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина Ольга Юрьевна	к.т.н.		

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 общеинженерные 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

_____ Ваулина О.Ю..
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Просолов Андрей Александрович

Тема работы:

Исследование влияния скорости нагружения на кинетику деформационных процессов поликристаллического никеля

Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-31/с от 02.02.2022
-------------------------------------	--------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Объектом исследования является изучение зависимости скорости нагружения на кинетику деформационных процессов поликристаллического никеля.</p>
<p>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</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ литературных данных с целью теоретического обоснования исследуемой работы; 2. Механическая обработка исходного материала; 3. Экспериментальное исследование условий формирования пространственно-временных структур деформационных полос при растяжении никеля с различными скоростями. 4. Установление зависимостей поведения материала при

<i>работе).</i>	растяжении с различными скоростями.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	Кашук И. В., доцент ОСГН ШБИП ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Черемискина М.С., ассистент
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:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильева Инесса Эдвиновна	-		
Ведущий научный сотрудник	Баранникова Светлана Александровна	Д-р физ.-мат. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Просолов А. А.		

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
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2022	Аналитический обзор литературы	15
20.04.2022	Исследование исходного материала	15
29.04.2022	Проведение эксперимента на растяжение при различных скоростях	15
04.05.2022	Анализ результатов	15
20.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2022	Социальная ответственность	15
25.05.2022	Заключение	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Баранникова Светлана Александровна	д-р физ.-мат. наук		
Старший преподаватель	Васильева Инесса Эдвиновна	-		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ваулина О.Ю.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 11 рис., 24 табл., 48 источников.

Ключевые слова: никель, локализация деформации, скорость растяжения.

Объектом исследования является полуфабрикатный никель НП2.

Цель работы – исследование влияния скорости нагружения на кинетику деформационных процессов в поликристаллическом никеле.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор различной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую тематику, локализации деформации, движение и зарождение полос деформации, влияние скорости растяжения на деформационные процессы.

В результате исследования были получены данные при растяжении трех образцов с различными скоростями из заданного диапазона в 0,05, 0,02 и 0,8 мм/мин.

Экономическая эффективность работы отражена в значении интегрального финансового показателя, который составляет 0,95, что демонстрирует финансовую эффективность данной работы по сравнению с аналогами.

Данное исследование позволит распространить автоволновую модель пластического течения на поликристаллические соединения никеля при различных условиях нагружения, в частности при различных скоростях приложения нагрузки в условиях одноосного растяжения. А также определить кинетику и параметры локализации деформации при комнатных температурах.

Список использованных сокращений:

ПЧЛ – Полосы чернова Людера

ПЛШ – Портевен – Ле Шателье

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Литературный обзор.....	13
1.1 Деформация на макро- и микромасштабном уровне.....	14
1.1.1 Макромасштабный уровень деформации	14
1.1.2 Деформационное течение на микроскопическом уровне	14
1.2 Деформационная среда	15
1.3 Пластическое течение	16
1.4 Развитие локализованной пластической деформации	17
1.5 Локализация и самоорганизация пластического течения	19
1.6 Влияние скорости нагружения на деформационные процессы.....	20
1.7 Никель.....	21
2 Объект и методы исследования.....	24
2.1 Подготовка образцов.....	24
2.2 Методы исследования	24
2.2.1 Метод корреляции цифровых изображений	24
2.2.2 Алгоритм построения деформационных кривых	25
3 Расчеты и анализы.....	29
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	38
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	38
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	38
4.1.2 SWOT-анализ.....	40
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	44
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	44
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	45
4.2.3 Разработка графика проведения исследования.....	46
4.3 Бюджет научно-исследовательского проекта	50
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта	50

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	51
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	53
4.3.4 Дополнительная заработная плата	55
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	55
4.3.6 Накладные расходы	56
4.4 Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования	57
Выводы по разделу.....	61
5 Социальная ответственность	64
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	65
5.2 Производственная безопасность	67
5.2.1. Анализ опасных и вредных факторов	68
5.3. Экологическая безопасность	71
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
Выводы по разделу.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	78

ВВЕДЕНИЕ

Изучение пластической деформации твердых тел позволило прийти к заключению о том, что пластическое течение протекает неоднородно на всех уровнях масштаба образца, а именно на микроскопическом, мезоскопическом, макроскопических уровнях. Из этого можно сделать вывод, что в процессе пластического течения деформация является локализованной абсолютно на всех стадиях деформации начиная от предела текучести и заканчивая разрушением образца [1].

При изучении закономерностей кинетики деформационных процессов для разных материалов, было установлено развитие неоднородной пластической деформации. При переходе от упругой деформации к упругопластической в действие вступают источники дислокаций, начинается процесс их спонтанного зарождения и распределение по плоскостям скольжения. Полосы локализованной деформации располагаются под углом к продольной оси образца по направлению к действию максимальных касательных напряжений. Механизмы зарождения и развития полос деформации для различных металлов и сплавов изучаются различными научными коллективами. Особое внимание при изучении было уделено кинетике подвижных границ полос, определены характерные скорости их распространения [2].

Среди макроскопических видов проявления локализации пластической деформации самыми известными и распространенными являются такие как: макроскопическая шейка, полосы Чернова–Людерса (ПЧЛ) и Портевена–Ле Шателье (ПЛШ), а также полосы Савара-Массона. Шейка и ПЧЛ относятся к пространственным эффектам, а эффекты ПЛШ и Савара-Массона относятся к временными неоднородностями процесса [3].

Установлено, что в случае линейного деформационного упрочнения, очаги локализации деформации, движутся синхронно, в то время как на стадии параболического упрочнения данные очаги неподвижны. К количественным

характеристикам процесса локализации относятся: пространственный период зон локализованной деформации и скорость их распространения [4]. Детали и элементы конструкций в сложных эксплуатационных условиях под силовыми и термическими нагрузками могут испытывать не только упругие, но и пластические деформации. Для создания моделей упрочнения и разрушения материалов на микро-, мезо- и макромасштабных уровнях необходимо детальное изучение накопления дефектов при деформации металлов и выявление факторов, влияющих на эти процессы. К настоящему времени также установлено, что пластическое течение при нагружении сплавов на основе алюминия и магния сопровождается явлением прерывистой текучести. Литературные данные указывают также на проявление прерывистой текучести в технически чистом никеле и его сплавах. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию условий формирования пространственно-временных структур полос локализации пластической деформации при растяжении образцов никеля.

Никелевые сплавы применяются в изделиях, устойчивых к широкому спектру агрессивных сред, содержащих кислоты либо водород. Они обладают высокой степенью жаропрочности наряду с хорошей технологичностью, поэтому развитие представлений о макроскопической неоднородности пластического течения является объектом пристального изучения. Проявление эффекта прерывистой текучести при нагружении оказывается чувствительным к варьированию таких физических параметров как скорость деформирования, температура эксперимента и др.

В связи с выше перечисленным, целью данной работы является исследование влияния скорости нагружения на кинетику деформационных процессов на примере образцов поликристаллического никеля.

1 Литературный обзор

Природа пластической деформации твердых тел остается одной из наиболее сложных проблем физики и механики конденсированных сред. Несмотря на уже почти 200-летнюю историю, исследования в этой области до настоящего времени далеки от своего завершения. При этом заинтересованность в успешном решении проблемы инициирована, по крайней мере, двумя обстоятельствами. Научная сторона такого интереса определяется тем, что природа пластичности является частью общей проблемы описания природы реального твердого тела. Это необходимо, в частности, для прогнозирования его комплексного отклика на внешние воздействия разного типа. С другой стороны, точное описание природы пластических свойств необходимо для ряда технических приложений - оптимизации технологий обработки металлов давлением, расчетов поведения материалов в экстремальных условиях эксплуатации и других целей [5].

Начиная с 30-х гг. двадцатого века практически все подходящие исследования, которые раскрывают тему описания пластичности базировались на использовании теории дислокаций [6]. Стандартные подходы к проблеме пластичности требуют, прежде всего, адекватного выбора соответствующих упрощающих моделей. Такой выбор чаще всего призван для предоставления решения тех или иных частных задач, связанных с пластическим формоизменением конкретных материалов. Однако ясно, что уже известные стандартные подходы в большинстве своем не соответствуют тому, чтобы на их основе было составлено универсальное описание феномена пластичности в целом. Это вызвано, в первую очередь, хорошо известными сложностями при попытках корректного учета ряда важных специфических особенностей пластически деформируемой среды, препятствующих успешному использованию упрощенных моделей [7].

1.1 Деформация на макро- и микромасштабном уровне

1.1.1 Макромасштабный уровень деформации

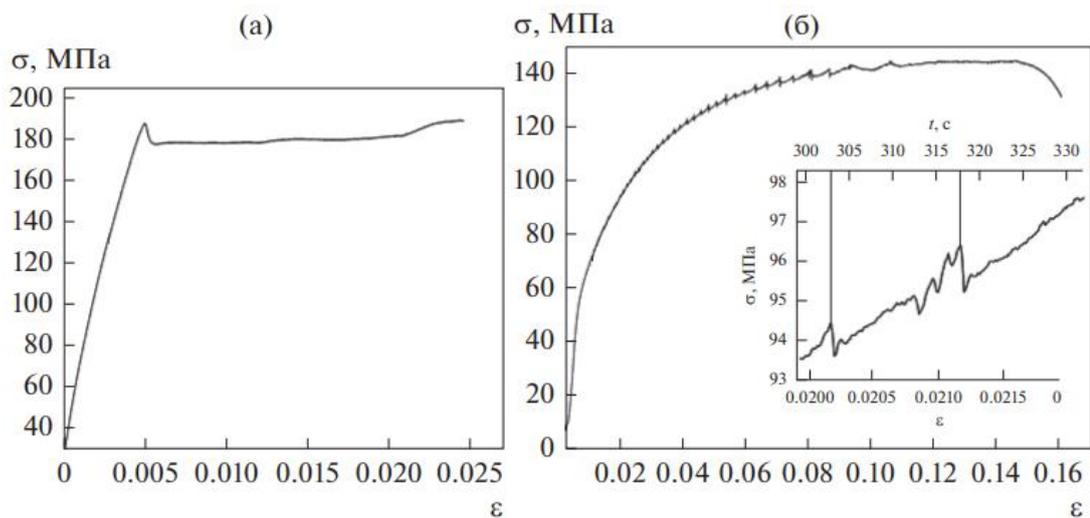
На макромасштабном уровне характерные размеры области неоднородности и образца близки. Наиболее известным и часто обсуждаемым явлением локализации деформации на уровне макроскопического масштаба есть зарождение и дальнейшее эволюция шейки разрушения на заключительной стадии процесса растяжения. Этот процесс можно наблюдать при деформации и вязком разрушении пластичных материалов, и проявляется он как сужение поперечного сечения, которое может достигать десятков процентов. Описание поведения материала на этой стадии, когда условные напряжения в образце снижаются, сигнализируя о потере устойчивости процесса деформирования, является серьезной научной и технологической проблемой [8].

Типичные примеры деформационных кривых материалов показаны на рисунке 1.

1.1.2 Деформационное течение на микроскопическом уровне

Микроскопический уровень связан с изучением характеристик распределений дислокационных ансамблей [16], размеры которых задают соответствующий масштаб пластического течения.

В работах [17, 18], показано, что пластическое течение является процессом самоорганизации в открытой термодинамической системе. Свой вклад в решение данного вопроса привнесла и работа [19], описывающая определение термина “самоорганизация”.



а) площадка текучести 08пс

б) сплав Д1 Увеличенный участок – форма скачка при эффекте ПЛШ

Рисунок 1 - Деформационные кривые

1.2 Деформационная среда

Пластически деформируемая среда является активной. В применении к деформируемому твердому телу это означает, что в его объеме содержатся концентраторы упругих напряжений. В ходе процесса пластического течения эти области концентраторов возникают, а затем распадаются (релаксируют), определяя тем самым кинетику формоизменения. Для дальнейшего исследования существенно то, что активная среда способна к самоорганизации. Перечисленные представления о сложности деформируемой среды дополняются тем, что она обладает долговременной памятью о внешних механических воздействиях. Природа памяти определяется необратимыми процессами рождения и размножения дислокаций и ансамблей решеточных дефектов. Возникновение таких дефектов существенно меняет механические свойства среды, что проявляется в изменениях закономерностей ее деформационного упрочнения [9].

Следует учитывать также, что при пластическом течении в материале сосуществуют нелинейно связанные упругие и пластические деформации, в значительной степени различающиеся своей величиной, а также природой.

Изучаемый вопрос об упругопластическом переходе является разносторонним и включает в себя множество различных задач. В настоящее время для его исследования используют экспериментальные методики, которые могут не только показать феноменологию явления, а также позволят извлекать количественные характеристики [10].

Наконец, принципиально важной для построения физически обоснованных теорий пластичности является условность общепринятых показателей механических свойств материалов (предел текучести, временное сопротивление и другие). Эти показатели могут быть измерены только в процессе взаимодействия испытуемого образца с испытательным устройством, свойства которого не всегда удается учесть исчерпывающим образом. Это порождает проблему объективного выбора величин, которые должны не просто характеризовать прочностные свойства материала, но и нести определенную информацию о динамике явлений в деформируемой среде.

1.3 Пластическое течение

Результаты, исследований последних лет привели к пониманию того, что проблема пластического течения неразрывно связана с его склонностью к локализации, имеющей место на всех этапах процесса. Благодаря локализации, первоначально однородная среда в ходе деформации самопроизвольно сепарируется на деформируемые и недеформируемые объемы, границы которых могут быть подвижными.

Распределение локальных деформаций представляют из себя согласованно движущиеся в образце и эволюционирующие во времени группы взаимосвязанных полос локализованной пластической деформации, схожих с полосами Людерса. На рисунке 2 показан один из примеров движения ПЧЛ, где

красным цветом выделены зоны подверженные деформации в данный момент времени.

Многие исследования по проблемам пластичности изобилуют как прямыми, так и косвенными указаниями на макроскопическую пространственно-временную неоднородность процесса пластического течения [11–12].

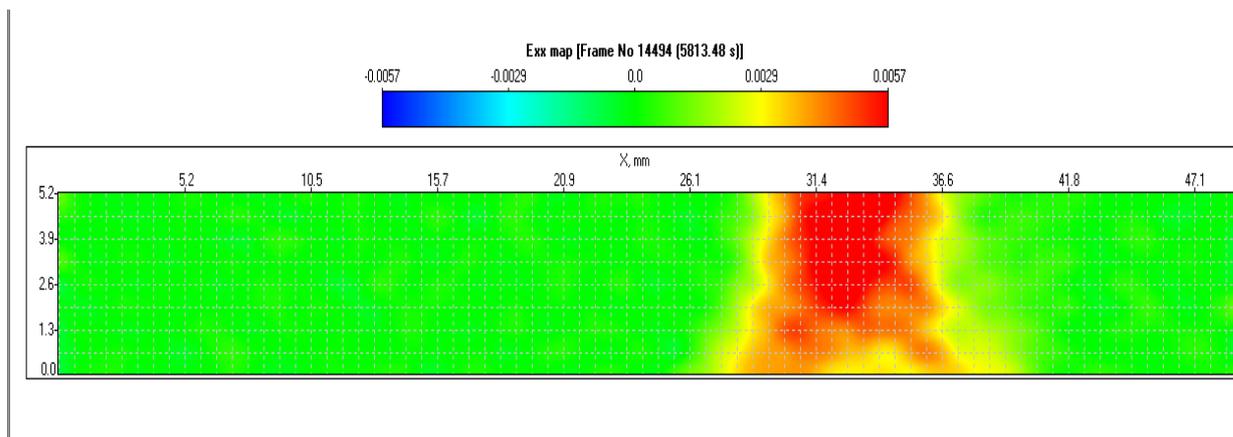


Рисунок 2 – Распределение локальных удлинений E_{xx} на примере формирования ПЧЛ в никеле

Феноменология и физическая природа механического реакции твердого тела на внешние силы в области пластических деформаций, являются одними из наиболее сложных проблем механики и физики конденсированного состояния [13]. Механическая реакция описывается на базе альтернативных подходов, которые различаются пространственными масштабами усреднения характеристик деформируемой среды. В основе макроскопического подхода лежит анализ формы и определение критических точек кривых пластического течения [14]. Для данного подхода масштаб имеет порядок размера деформируемого объекта. В последнее время данный подход получил экспериментально-теоретическое развитие, спровоцированное нерешёнными задачами поведения материалов в экстремальных условиях применения [15].

1.4 Развитие локализованной пластической деформации

Понимание процессов, происходящих при пластической деформации, все еще до конца не достигнуто и решение этой проблемы остается по-прежнему актуальным [20]. Развитие локализованной пластической деформации неразрывно связано с самоорганизацией деформируемой среды [18]. Определение самоорганизации, которое выдвинул Хакен [21] — «Система называется самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру» — оказалось подходящим для его применения в физике пластичности.

С пониманием коллективных явлений в пластичности начал формироваться новый подход к объяснению закономерностей пластического течения, рассмотренный в обзорах Малыгина [22]. В рамках данной закономерности деформация представляет из себя коллективный процесс, во время которого распространяются, закономерно развиваются, а также аннигилируют различного типа носители пластичности. В ряде работ Малыгина [23], Ханнанова [24], Сарафанова [25], удалось решить достаточно сложные задачи и получить описание процессов упрочнения твердых тел при нагружении.

Эволюция дислокационных субструктур при деформации исследована Козловым и его соавторами, которые экспериментально установили, что перестройка из одного типа дефектной структуры в другой тип имеет признаки фазового перехода [26]. В данном процессе зарождается новая дислокационная субструктура, которая начинает эволюционировать на фоне существующей, но уже завершающей свое развитие.

К числу наиболее успешных попыток в описании макроскопической нелинейной пластичности следует, конечно, отнести работы Айфантиса и его теорию о градиентной пластичности [27]. Данная теория, учитывающая многомасштабность деформируемой среды путем введения внутренних масштабов разной величины, позволяет достичь удовлетворительного

количественного согласия с результатами экспериментальных исследований различных стадий деформационного упрочнения материалов.

Подход к задаче неоднородной пластической деформации также сформирован в работе Наймарка [28]. В своих работах автор показал, что генерация и эволюция дефектов при пластическом течении провоцирует изменение как локальной, так и глобальной симметрии системы, что схоже с переходом от ламинарного к турбулентному течению в гидродинамике.

1.5 Локализация и самоорганизация пластического течения

Локализация деформации наблюдается на всех масштабных уровнях этого процесса, как это было показано выше. Даже на решеточном масштабном уровне распространение упругих волн достаточно большой амплитуды также сопровождается их локализацией и формированием волновых особенностей вследствие нелинейности упругой среды. Что касается дислокаций, то уже в первых работах, посвященных их свойствам Конторова, Френкель, было показано, что сдвиг, связанный с разрывом и становлением межатомных связей, локализован на действующих плоскостях скольжения, но в тоже время материал между этими плоскостями остается упруго деформированным. [29] Сдвиг, который был спровоцирован дислокацией, равноценен смещению части кристалла относительно другого на величину вектора Бюргерса дислокации. Из этого следует, что пластическая деформация на дислокационном масштабном уровне является локализованной.

Закономерно возникающие в образце картины локализации могут рассматриваться как пространственно-временные (автоволновые) структуры, самопроизвольно зарождающиеся при растяжении с постоянной скоростью. В процессе образования очагов локализованной пластичности (доменов) деформируемая система самопроизвольно расслаивается на чередующиеся, друг с другом деформирующие и не деформирующиеся в этот момент времени [30].

Эти же рассуждения могут быть отнесены и к деформации, охватывающей мезо- и макроскопический масштабные уровни. По существу, все особенности распределения деформационных дефектов в этих случаях указывают на области, где в момент наблюдения протекает (локализуется) пластическая деформация.

Усложнение деформационной структуры в ходе процесса деформирования явно подчинено определенным закономерностям, которые в настоящее время пытаются объяснить в рамках теории неравновесных структур (синергетики). Эти закономерности контролируют переходы с нижележащих на вышележащие уровни при пластической деформации. Надо признать, что до настоящего времени попытки использования синергетических представлений в физике пластичности еще не привели к созданию какой-либо надежной теории структурообразования. Причина этого состоит, видимо, в отсутствии систематического подхода к проблеме описания пластичности в терминах синергетики. К тому же до сих пор неясны принципы выбора тех закономерностей процессов пластичного течения, которые могли бы стать объектами синергетики пластичности [31].

1.6 Влияние скорости нагружения на деформационные процессы

Скорость деформации изменяет направление монокристаллов и структуру листовых поликристаллов в зависимости от материала и способов нагружения, что, в свою очередь, сопровождается изменениями в механизме деформации [32, 33]. Технические материалы используются в поликристаллическом состоянии, а текстура представляет из себя большой интерес как дополнительный резерв улучшения технических свойств изделий по весовым, габаритным, прочностным и другим характеристикам [34], такой же подход к изучению скоростных характеристик пластической деформации считается актуальным.

Установлено, что чем больше скорость деформирования, тем выше предел текучести и временное сопротивление материалов [35].

1.7 Никель

В настоящее время никель и сплавы на его основе являются одними из ценных промышленных металлов, за счет большой химической стойкости, высоким электрическим сопротивлением и коррозионной стойкостью, а также повышенной жаропрочностью, и жаростойкостью. В чистом виде его прочность достигает $\sigma_b = 40-50 \text{ кГ мм}^2$ и пластичность $\delta = 50\%$.

Ниже в таблице 1 приведены основные физические константы чистого никеля.

Таблица 1 – Физические константы чистого никеля

Атомный вес	58,71
Плотность, г/см ³	8,907
Кристаллическая решетка	ГЦК
Период решетки, А	4,08
Температура плавления, °С	1455
Температура кипения, °С	3080
Скрытая теплота плавления, кал/г	73
Скрытая теплота испарения, кал/г	1450
Коэффициент линейного расширения 10^6 при 0-100 °С, 1/град	13,3
Теплопроводность при 0-100 °С, кал/см сек град	$1,428 * 10^{-4}$
Температура перехода из магнитного в немагнитное состояние (точка Кюри) °С	360
Модуль упругости, кГ/мм ²	22000
Удельное электросопротивление, мком/см	6,84

Промышленные марки никеля указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав промышленных марок никеля

Марки	Ni+Co, % не менее	Co, % не менее	Содержание примесей								
			Fe 10 ⁻³	Si 10 ⁻³	C	S 10 ⁻³	Cu	As 10 ⁻³	Sb 10 ⁻³	Pb 10 ⁻³	Bi 10 ⁻³
Н0	99,99	0,005	2	1	0,005	1	0,001	0,1	0,3	0,3	0,3
Н1	99,93	0,1	12	2	0,01	1	0,02	0,1	1	1	1
Н2	99,8	0,15	40	2	0,02	3	0,04	-	-	-	-

НЗ	98,6	0,7	-	-	0,1	30	0,06	-	-	-	-
Н4	97,6	0,7	-	-	0,15	40	1	-	-	-	-

Электролитический никель в основном переплавляют на слитки, позже из которых путем обработки давлением получают различные полуфабрикаты: листы, прутки, трубы, проволоку и другие виды полуфабрикатов.

Способ плавки в электронно-лучевой печи используется в основном для получения никеля особой чистоты, пример процентного содержания примесей после очистки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние электронно-лучевой плавки на степень очистки никеля от примесей

Наименование материала	Содержание примесей, %				
	C	O ₃	H ₂	Cu	Fe
Исходный никель	0,05	0,0021	0,002	0,04	0,034
После электронно-лучевой плавки	0,04	0,0008	0,0001	0,02	0,018
Наименование материала	Содержание примесей, %				
	Si	Mn	Mg	Pb	Zn
Исходный никель	0,096	0,002	0,05	0,006	0,005
После электронно-лучевой плавки	0,017	Не обнаружено		0,0008	Не обнаружен

На структуру и свойства никеля существенное влияние оказывают содержащиеся в нем примеси, чаще всего в никеле встречаются примеси: Co, Fe, Si, C, O₂, S, Cu.

В никеле сера присутствует в виде сульфида Ni₂S, который образует легкоплавкую эвтектику, температура плавления которой 644 °С, выделяясь на границах зерен, что делает металл непластичным. Наличие в отожженном никеле более 0,002% серы делает его хрупким в холодном состоянии.

Кислород также является вредной примесью, так как при нагреве кислородосодержащего никеля в восстановительной атмосфере начинают появляться трещины по границам зерен.

Функциональные свойства никеля, а именно жаропрочность и коррозионная стойкость позволяют использовать данный материал в условиях агрессивных сред и механических нагрузок при повышенных температурах. Никель широко используется в изделиях микронных размеров в теле и радиотехнике. Помимо этого, никель широко используется в качестве легирующего элемента для различных сталей и сплавов для повышения их химической стойкости.

Никель имеет повышенную коррозионную стойкость на воздухе, за счет образовавшейся на его поверхности окисной пленки, которая и защищает его от разрушения, также благодаря этой пленке он практически не корродирует в дистиллированной и морской воде.

Сплавы на основе никеля стали следующей ступенью развития авиационного материаловедения, так как он не имеет полиморфных превращений, что дает возможность использовать его как основу для создания жаропрочных сплавов. Так данные сплавы на основе никеля используются в авиационной промышленности и ракетно-космической отраслях за счет их высокой рабочей температурой.

В медицине никель тоже занимает свое определенное место, а точнее его сплав с титаном или другими словами нитинол. Данный сплав титана и никеля, обладающий высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, используется как материал с памятью формы.

2 Объект и методы исследования

2.1 Подготовка образцов

Для данного исследования был взят НП2, полуфабрикатный никель чистотой не менее 99,5 %. Содержание основных примесей Fe, C, Si, Cu и Mg не должно превышать 0,1% весовых для отдельного элемента и 0,5 % для всех примесей, состав образца приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Химический состав в % материала НП2 ГОСТ 492 – 2006

Fe	C	Mn	S 10 ⁻³	P 10 ⁻³	Cu	As 10 ⁻³	Pb 10 ⁻³	Zn 10 ⁻³	Sb 10 ⁻³	Bi 10 ⁻³	Sn 10 ⁻³	Cd 10 ⁻³	Ni
до 0.1	до 0.1	до 0.05	до 5	до 2	до0.1	до 2	до 2	до 7	до 2	до 2	до 2	до 2	min 99.5

Образцы для исследований получали из листового проката никеля толщиной в 2 мм, которые вырезались поперек проката в форме двусторонней лопатки с рабочей областью 50x10 мм. Далее лопатки образца закрепляли в захватах универсальной испытательной машины LFM-125 (производство: Walter + Bai AG, Швейцария), где один из захватов двигался с заданной скоростью.

Механические испытания на одноосное растяжение проводили при различных скоростях движения подвижного захвата. Испытания проводились при комнатной температуре.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Метод корреляции цифровых изображений

Исследование макролокализации пластической деформации проводили методом корреляции цифровых спекл-изображений с использованием автоматизированного лазерного измерительного комплекса ALMEC-tv. Данный метод применяют для выявления очагов локализации пластической деформации, также он позволяет получить изображения образца, которые получаются в результате нагружения в ходе всего процесса деформации,

получить количественные характеристики деформации, то есть определить поле векторов смещения в плоском образце при растяжении и далее с его помощью можно произвести расчет компонент тензора пластической дисторсии:

- Локальные удлинения ϵ_{xx} ;
- Сдвиг ϵ_{xy} ;
- Поворот ω_z .

При использовании данной методики в процессе нагружения были получены поля деформации и характер зарождения фронтов локализации пластической деформации.

Для обработки полученных изображений выбирается определенный цветовой диапазон, чтобы яркие области соответствовали деформирующимся в данный момент участкам образца, а темные указывали на те участки, где пластического течения в момент наблюдения нет. Цвета окраски пропорциональны амплитуде локальной деформации, как показано на рисунке 3.

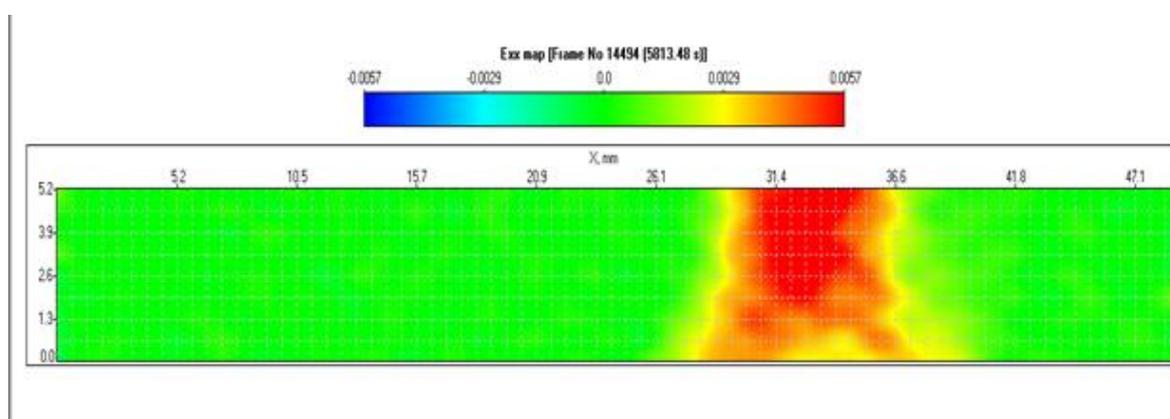


Рисунок 3 – Корреляционное изображения образца во время растяжения никеля

2.2.2 Алгоритм построения деформационных кривых

По результатам механического испытания на растяжение строится соответствующая диаграмма нагружения σ - ϵ , которая характеризует поведение

металла при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца.

На диаграмме растяжения выделяют следующие участки: упругой деформации – до нагрузки $R_{упр}$; равномерной пластической деформации от $R_{упр}$ до R_{max} и сосредоточенной пластической деформации от R_{max} до R_k . Образец, нагруженный в пределах $R_{упр}$, демонстрирует упругую деформацию. При нагружении более $R_{упр}$ уже появляется остаточная деформация. Пластическое деформирование идет при возрастающей нагрузке, так как металл упрочняется в процессе деформирования. После достижения максимального значения нагрузки R_{max} в наиболее слабом месте появляется местное утонение образца (шейка), в котором и протекает последующее пластическое деформирование. В связи с развитием шейки, несмотря на продолжающееся упрочнение металла, нагрузка уменьшается от R_{max} до R_k , и при нагрузке R_k происходит разрушение образца, пример диаграммы показан на рисунке 4.

Данная диаграмма строится по следующему алгоритму:

1. Исходные данные для построения диаграммы нагружения как правило содержат два тип данных:

а) перемещение Δl [мм];

б) нагрузка F [кН].

Для перевода удлинения в условную деформацию ε_U [%] нужно

$$\varepsilon_U = (\Delta l / l) \cdot 100\%,$$

где l – длина рабочей части образца.

Для перевода нагрузки в [Н] в условное напряжение σ_U [МПа], нужно

$$\sigma_U [\text{МПа}] = (F [\text{кН}] / S_{\text{сеч}} [\text{мм}^2]) \cdot 1000$$

где $S_{\text{сеч}}$ [мм²] – площадь сечения рабочей части образца.

2. Строим диаграмму σ - ε .

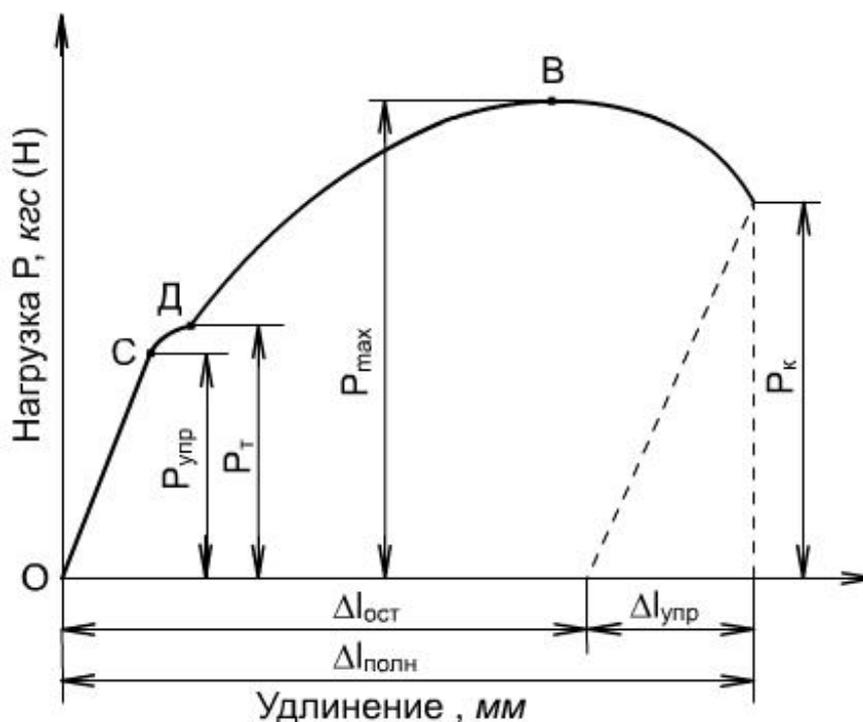


Рисунок 4 – Диаграмма растяжения металла

Существует следующий алгоритм выделения стадий, для точного их определения на диаграмме и детального изучения:

1. Смещаем ноль по деформации в предел текучести $\epsilon_{\sigma T}$ или условный предел текучести $\epsilon_{\sigma 0.2}$ (определяется по кривой нагружения).

Для этого дифференцируем условную диаграмму нагружения (получаем зависимость деформационного упрочнения от деформации). Определяем место перелома ниспадающей кривой и соответствующее значение деформации. Напряжение при этой деформации и есть искомый условный предел текучести.

2. С учетом изменения значений деформации получаем e (истинная деформация) и S (истинное напряжение).

$$e = \ln(1 + ((\epsilon_U - \epsilon_{\sigma T}) / 100))$$

$$S = \sigma_U (1 + ((\epsilon_U - \epsilon_{\sigma T}) / 100)),$$

где ϵ_U и σ_U – условные деформация и напряжение (записанные машиной).

3. Строим график $S(e)$, ищем прямой участок (линейная стадия).

4. Строим график S от $e^{1/2}$ (параболическая стадия). Если получится прямая линия $S=S_0+k\cdot e^{1/2}$, то стадия есть. Находим пересечение с осью S при $e^{1/2}=0$. Точка пересечения есть S_0 .

5. Строим $\log(S-S_0)$ от $\log(e)$. Проверяем наклон видимой прямой, если он равен $1/2$, тогда отмечаем для себя начало и конец параболической стадии.

6. Вся оставшаяся диаграмма – предразрушение.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Просолов Андрей Александрович

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
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 ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Просолов Андрей Александрович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – провести исследование влияния скорости нагружения на кинетику деформационных процессов поликристаллического никеля, изучить изменения в структуре во время нагружения.

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

4.1.1 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 создавать здоровую конкуренцию всем своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок как конкурентов, так и своих собственных.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего развития.

В ходе конкурентов выступают другие научные институты, которые могут проводить данное исследование в своих лабораториях.

Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5-ти бальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1. В таблице 6 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 6 – Сравнение конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Трещиностойкость	0,14	3	4	5	0,52	0,56	0,7
3. Упругость	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
4. Простота проведения эксперимента	0,14	5	3	3	0,7	0,42	0,42
5. Эксплуатационные характеристики	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
6. Эффективность работы	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена сырья	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44

Продолжение таблицы 6

3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
Итого	1	39	36	36	4,49	3,84	3,85

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

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

Где K – конкурентоспособность научно-исследовательской разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 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.

SWOT – анализ с детальной оценкой проекта даёт возможность понять факторы и явления, помогающие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Высокий спрос на данного материала для удовлетворения разных технических потребностей.	Сл1. Малое количество научных статей о процессах деформации никеля.
С2. Последние достижения в данном направлении были применены для разработки проекта.	Сл2. Скорость проведения эксперимента
С3. Исследование такого типа над никелем еще мало изучены.	Сл3. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
С4. Наличие квалифицированного научного коллектива, имеющего большой опыт в работе как с установками, так и с исследуемым материалом.	Сл4. Сложность настройки оборудования.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Скорость работы других исследовательских институтов.
В2. Использование во многих отраслях промышленности.	У2. Отсутствие интереса к исследованию со стороны научного сообщества.
В3. Появление потенциального спроса на новые исследования.	
В4. Адаптация исследования под иностранные языки.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 8–11.

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	-	-	-	+
	В2	+	-	-	-
	В3	+	+	+	-
	В4	-	-	-	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	+	-
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	-	+
	У2	-	-	+	-

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	-
	У2	+	-	-	-

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 12.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокий спрос на данного материала для удовлетворения разных технических потребностей;</p> <p>С2. Последние достижения в данном направлении были применены для разработки проекта</p> <p>С3. Исследование такого типа над никелем еще мало изучены.;</p> <p>С4. Наличие квалифицированного научного коллектива, имеющего большой опыт в работе как с установками, так и с исследуемым материалом.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Малое количество научных статей о процессах деформации никеля.</p> <p>Сл2. Скорость проведения эксперимента</p> <p>Сл3. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования. Сл4. Сложность настройки оборудования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.</p> <p>В2. Использование во многих отраслях промышленности;</p> <p>В3. Появление потенциального спроса на новые исследования;</p> <p>В4. Адаптация исследования под иностранные языки.</p>	<p>Направления развития:</p> <p>В2С1. Исследования деформации никеля позволяют эффективнее его использовать в различных отраслях промышленности.</p> <p>В4С1С2С3. Успешное исследование данной темы позволит привлечь других заинтересовавшихся исследователей в данной области.</p> <p>В4С4. Опыт научного коллектива позволит адаптировать исследования под иностранные языки.</p>	<p>Сдерживающие факторы:</p> <p>В1Сл2Сл3. Использование новейшего оборудования позволит значительно снизить время подготовки образцов, а также и время проведения эксперимента.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Скорость работы других исследовательских институтов;</p> <p>У2. Отсутствие интереса к исследованию со стороны научного сообщества.</p>	<p>Угрозы развития:</p> <p>У1С2С4. Опыт научного коллектива и предыдущие исследования данного института, позволят быстрее провести эксперимент и обработать результаты.</p> <p>У1С3. Поскольку таких исследований над никелем еще не было, то это поможет привлечь новых исследователей, после получения результатов.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл2Сл3. Риск появления других более ранних исследований ввиду длительного процесса подготовки образцов и их исследования</p> <p>У2Сл1. Малое количество информации может привести к низкому спросу среди научного общества.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные

недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, могут в состав которой входят руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Перечень основных этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	2	Изучение выбранного материала	Инженер
	3	Изучение литературы и методик проведения эксперимента	Инженер
	4	Получение и подготовка образцов	Инженер
	5	Проведение эксперимента	Руководитель Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Обработка полученных результатов	Руководитель Инженер

Контроль и координирование проекта	7	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Оформление отчета, НИР	8	Составление отчёта	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{мин\ i} + 2t_{макс\ i}}{5},$$

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

$t_{макс\ i}$ – 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 14.

4.2.3 Разработка графика проведения исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

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 $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ представлен на примере работы «Получение и подготовка образцов»:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8,2 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{8,2}{1} = 8,2 \text{ раб.дн.}$$

Расчет трудоемкости и продолжительности работ представлен на примере работы «Составление и утверждение технического задания на ВКР»:

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели для 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 календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Получение и подготовка образцов»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 8,2 \cdot 1,48 = 12,136 \approx 13 \text{ календ.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели руководителя:

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

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

$$T_{\text{кал.рук}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,8 \cdot 1,28 = 3,584 \approx 4 \text{ календ.дн.}$$

Все рассчитанные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 15.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научно-исследовательского проекта

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Изучение выбранного материала	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	8
Изучение литературы и методик проведения эксперимента	-	6	-	9	-	7,2	-	7,2	-	11
Получение и подготовка образцов	-	15	-	20	-	17	-	17	-	26
Проведение эксперимента	8	8	16	16	11,2	11,2	5,6	5,6	8	9
Обработка полученных результатов	10	10	15	15	12	12	6	6	8	9
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5	-
Составление отчёта	-	7	-	9	-	7,8	-	7,8	-	12
Итого:	23	50	40	75	29,8	60	18,2	48,4	25	75

После произведенных расчетов, представленных в таблице 14, строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 15.

Таблица 15 – Диаграмма Ганта

№	Вид работы	Исполнители	T _{к,дн}	Февраль	Март	Апрель	Май
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	█			
2	Изучение выбранного материала	Инженер	8		█		
3	Изучение литературы и методик проведения эксперимента	Инженер	11		█		
4	Получение и подготовка образцов	Инженер	26		█		
5	Проведение эксперимента	Руководитель	8			█	
		Инженер	9			█	
6	Обработка полученных результатов	Руководитель	8			█	
		Инженер	9			█	
7	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель	4				█
8	Составление отчёта	Инженер	12				█

4.3 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. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- 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.

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, используемые в качестве объектов исследований (испытаний)

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх.}i} = (1 + 0,25) \cdot 11650 = 14562,5 \text{ руб.},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх.}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в данной работе принимается равным 25 %).

Таблица 16 – Материальные затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Лист никеля	кг	0,5	8000	4000
Наждачная бумага	шт.	5	200	1000
Набор перчаток резиновых	пар	10	100	1000
Алмазная паста	шт.	5	1000	5000
Спирт	л	1	650	650
Итого:				11650

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблице 17.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Таблица 17 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во, ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цены единицы оборудования, руб.	Амортизация,
1	Автоматизированный лазерный измерительный комплекс с телевизионной регистрацией спекл-изображений ALMEC-tv	1	7	0,87	14	2000000	20300
2	Универсальная испытательная напольная машина LFM-125	1	9	0,87	11	5000000	39875
3	Видеокамера PixeLink PL-B781	1	4	0,87	25	300000	5437
Итого:							65612 руб.

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается 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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя) по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,4}{246} = 2168,1 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{м}}$ – должностной оклад работника за месяц;

$F_{\text{д}}$ – 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 48 раб. дней – $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

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

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

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

Для инженера:

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

где Z_{TC} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, принимается равным 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, принимается равным 0,2;

k_p – районный коэффициент, принимается равным 1,3 (для г. Томска).

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

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

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители НИП	Z_{TC} , руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2168,1	18,2	39459,4
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	48,4	84366,0
Итого:								123825,4

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 39459,4 = 5918,9 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 84366,0 = 12654,9 \text{ руб.}$$

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

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (39459,4 + 5918,9) = 13613,5 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (84366,0 + 12654,9) = 29106,3 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – 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):

22 % – на пенсионное страхование;

5,1 % – на медицинское страхование;

2,9 % – на социальное страхование.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя прочие затраты, такие как: печать и ксерокопирование документов, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и др.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИП по форме, приведенной в таблице 20.

Таблица 20 – 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
65612	11650	123825,4	18573,8	42719,8	262381

Величина накладных расходов определяется по формуле:

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

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «влияние скорости нагружения на кинетику деформационных процессов поликристаллического никеля» по форме, приведенной в таблице 21. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	11650	32300	45730	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	65612	39560	45380	Пункт 4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	123825,4	123825,4	123825,4	Пункт 4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18573,8	18573,8	18573,8	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	42719,8	42719,8	42719,8	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	10495	10495	10495	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР	272876	267474	286724	Сумма ст. 1- 6	

4.4 Определение финансовой, бюджетной 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.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 272876$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 267474$ руб, $\Phi_{\text{исп.3}} = 286724$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{272876}{286724} = 0,95;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{267474}{286724} = 0,93;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{286724}{286724} = 1;$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Далее необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{ri} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка проекта	Бальная оценка аналога №1	Бальная оценка аналога №2
Актуальность исследования	0,2	5	5	5
Трещиностойкость	0,1	3	4	5
Упругость	0,3	5	3	3
Простота проведения эксперимента	0,05	5	3	3
Эксплуатационные характеристики	0,15	4	4	5
Эффективность работы	0,3	4	5	4
Итого:	1	4,85	4,55	4,5

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}$$

$$I_{тек.пр} = \frac{4,85}{0,95} = 5,1;$$

$$I_{\text{тек.пр}} = \frac{4,55}{0,93} = 4,9;$$

$$I_{\text{тек.пр}} = \frac{4,5}{1} = 4,5$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта, таблица 23.

Таблица 23– Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,93	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,55	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	5,1	4,9	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,92

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 изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведенного анализа конкурентных технических решений оказалось, что разрабатываемый проект является более конкурентноспособным, чем его аналоги;

2. При ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 83 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 75 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 25;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 272876 рублей;

4. По факту оценки эффективности научно-исследовательского проекта, можно сделать следующие выводы:

– значение интегрального финансового показателя НИП составляет 0,95, что является показателем того, что научно-исследовательский проект является финансово выгодным по сравнению с аналогами;

– значение интегрального показателя ресурсоэффективности научно-исследовательского проекта составляет 4,85, а конкурентов составляет 4,55 и 4,5;

– значение интегрального показателя эффективности НИП составляет 5,1, а конкурентов 4,9 и 4,5, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИП, является наиболее эффективным вариантом исполнения.