

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка составов для получения оксинитрида алюминия заданного состава</b>

УДК 666.792.6'62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7А	Гришаева Елизавета Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н		

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) 18.03.01 Химическая технология  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7А	Гришаева Елизавета Дмитриевна

Тема работы:

Разработка составов для получения оксинитрида алюминия заданного состава
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2021
---	------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Литература по теме исследования; порошок оксида алюминия микронный и нано; порошок нитрида алюминия;</p> <p>Объект исследования: технология синтеза оксинитрида алюминия.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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></p>	<p>Обзор литературы; объект и методика исследования; результаты исследования; финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна, доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент
Экспериментальная часть	Ревва Инна Борисовна, доцент, к.т.н.

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

1. Обзор литературы (русский язык)
2. Методы исследования (русский язык)
3. Экспериментальная часть (русский язык)
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)
5. Социальная ответственность (русский язык)

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	28.01.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7А	Гришаева Елизавета Дмитриевна		

Планируемые результаты освоения ООП  
Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
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
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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в

	соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 86 с., 17 рис., 22 табл., 25 источника.

Ключевые слова: AlON, оксинитрид алюминия, бронекерамика, прозрачная керамика, нанопорошок.

Объектом исследования является синтез оксинитрида алюминия заданного состава при введении спекающих добавок.

Цель работы - подбор оптимального состава исходной смеси порошков оксида и нитрида алюминия и гранулометрических параметров оксида алюминия для синтеза оксинитрида алюминия без добавок.

В процессе исследования изготавливались образцы оксинитрида алюминия с разным заданным составом и проводились измерения их физико-химические свойства.

В результате исследования разработаны составы для получения оксинитрида алюминия заданного состава.

Область применения: бронеизделия, оптические приборы, военная промышленность, авиакосмическая промышленность, радиоэлектроника.

Экономическая эффективность/значимость работы. Настоящая работа является наиболее выгодной среди аналогов исполнения работы по интегральному показателю, а исследуемый продукт - конкурентоспособен.

## Нормативные ссылки

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;

ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность;

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление;

ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;

ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях;

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности;

ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны;

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;

СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование;

СП 9.13130.2009 Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

## Определения, обозначения и сокращения

НИР - hot isostatic pressing;

СВС - самораспространяющийся высокотемпературный синтез;

ИК-спектр - инфракрасный спектр;

УФ-спектр - ультрафиолетовый спектр;

СВЧ - сверхвысокочастотное излучение;

ЧС - чрезвычайная ситуация;

ПБ - пожарная безопасность;

НИР - научно-исследовательская работа;

ПДК - предельно-допустимые концентрации;

РЭМ - растровая электронная микроскопия;

РФСА - рентгенофлуорисцентный анализ;

РФА - рентгенофазовый анализ.

## Оглавление

Реферат .....	6
Нормативные ссылки .....	7
Определения, обозначения и сокращения .....	8
Введение .....	12
1 Обзор литературы .....	13
1.1 Сырьё для синтеза .....	15
1.2 Методы синтеза .....	16
1.2.1 Высокотемпературный синтез .....	16
1.2.2 Жидкофазный синтез.....	18
1.2.3 Искроплазменное спекание .....	19
1.2.4 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез .....	20
1.3 Добавки .....	21
1.4 Области применения.....	22
2 Методы исследования .....	23
2.1 Рентгенофазовый анализ .....	23
2.2 Рентгенофлуоресцентный анализ .....	26
2.3 Растровая электронная микроскопия .....	28
2.4 Измерение пористости, водопоглощения и кажущейся плотности .....	29
3 Экспериментальная часть .....	32
3.1 Характеристика исходного сырья .....	33
3.2 Технологические особенности получения AION .....	35
3.3 Результаты эксперимента .....	43
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	48

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности .....	49
проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и .....	49
ресурсосбережения.....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	51
4.1.3 SWOT-анализ.....	53
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	55
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	55
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	57
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	58
4.3 Бюджет научного исследования .....	61
4.3.1 Расчет материальных затрат НИР .....	62
4.3.2 Специальное оборудование для НИР .....	63
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИР .....	64
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИР .....	66
4.3.5 Отчисления на социальные нужды .....	66
4.3.6 Накладные расходы .....	67
4.4 Реестр рисков проекта.....	68
4.5 Определение сравнительной эффективности проекта.....	69
5 Социальная ответственность .....	74
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
5.1.1 Особенности норм труда .....	75
5.1.2 Нормы по безопасности на рабочем месте .....	76
5.2 Производственная безопасность.....	78
5.3 Экологическая безопасность .....	81

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. ....	82
Выводы.....	84
Список использованных источников .....	85

## Введение

Керамические материалы на основе нитрида являются новыми перспективными материалами, находящими множество применений из-за их прочностных и тепловых свойств. Такие материалы включают в свой состав различные оксиды, бориды, карбиды и т.д. Наибольший интерес среди этого класса материалов представляет оксинитрид алюминия.

Оксинитрид алюминия является поликристаллической керамикой со структурой кубической шпинели, отличительными свойствами которой являются оптическая прозрачность и механическая прочность. Существует в псевдобинарной системе оксида и нитрида алюминия  $Al_2O_3-AlN$  и имеет стехиометрическую формулу  $Al_{23}O_{27}N_5$ , соответствующую устойчивой фазе  $\gamma$ -ALON. Сокращённое название ALON оксинитрид получил после выхода патента компании Surmet Corporation [1].

Соединение представляет интерес в первую очередь как материал для брони, прочность которого превышает прочность бронестекла. Использование ALON в качестве защитных покрытий, будь то комплектующая жилета, стекло для шлемов и транспорта, выгоднее, не только из-за его механических свойств, но и так же такое керамическое «стекло» имеет меньший вес.

Оптическая прозрачность ALON в видимом, а так же в УФ и ИК спектре, расширяет его область применения, как в стратегических, так и в гражданских целях.

Целью работы является изучение мольного состава исходных порошков и их гранулометрического состава на синтеза бездобавочного оксинитрида алюминия заданного состава.

## 1 Обзор литературы

О выдающихся свойствах оксинитрида алюминия стало известно ещё в 1959 году, когда была опубликована статья японских ученых Ямагучи и Янагиды [], и с тех пор исследования продолжают вот уже более шестидесяти лет. За это время были изучены его физико-химические свойства и разработаны различные методы синтеза.

Основной отправной точкой для изучения ALON является его двухкомпонентная фазовая диаграмма  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -AlN [рисунок 1]. Диаграмма является псевдобинарной, т.к. является частью трёхфазовой системы Al-O-N. Бинарная диаграмма содержит более 14 фаз в температурном интервале 1600-2600 °С, которые изучаются до сих пор. ALON или  $\text{Al}_{23}\text{O}_{27}\text{N}_5$  является одним из четырёх соединений со структурой шпинели, образуется в фазе  $\gamma$ -AlON, определяемой интервалом 60-73 мол. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

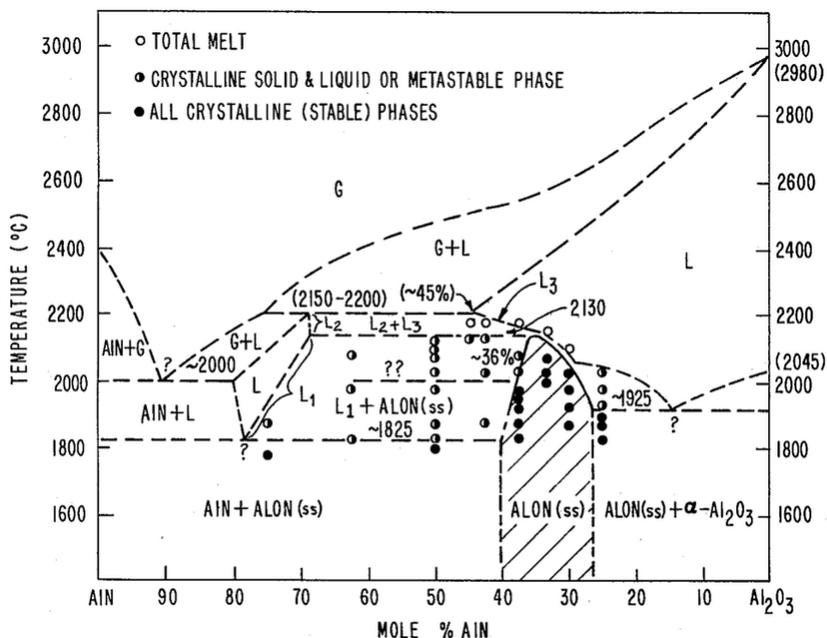


Рисунок 1.1 - фазовая диаграмма псевдобинарной системы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -AlN[]

Механические и физические свойства представлены в таблице 1. Эти свойства были измерены для образца ALON с размером зерен порядка 150-200 мкм, поэтому значения принято считать ориентировочными, т.к. в зависимости от гранулометрического состава они могут изменяться.

Таблица 1.1 - Механические и физические свойства ALON

Свойство	Единица измерения	Значение
Плотность	г/см <sup>3</sup>	3,696-3,691
Температура плавления	°С	2150
Модуль Юнга	ГПа	~ 320
Прочность на изгиб	МПа	380-700
Прочность на сжатие	МПа	2677
Трещиностойкость	МПа · √м	~ 2,40
Микротвердость	кг/мм <sup>2</sup>	1850
Предел прочности	МПа · √м	2,0
Модуль сдвига (параметр Ламе)	ГПа	124,1
Постоянная решётки	Å	7,956-7,936

Далее будут подробно рассмотрены сырьё, методы синтеза и применения этого уникального соединения.

## 1.1 Сырьё для синтеза

Вне зависимости от методов получения и используемых добавок, основными компонентами оксинитрида алюминия являются  $Al_2O_3$  и  $AlN$ .

Оксид алюминия  $Al_2O_3$ , так же известный как природное соединение глинозём, является кристаллическим бесцветным веществом. В зависимости от примесей, цвет может меняться вплоть до красного и синего. В качестве сырья для синтеза ALON, используется тугоплавкий белый порошок  $Al_2O_3$ . Температуры плавления и кипения соответственно равны  $2044^{\circ}C$  и  $3530^{\circ}C$ . В зависимости от модификации имеет разную плотность, от  $3,61$  до  $3,99$  г/см<sup>3</sup>, во всех случаях близкую к плотности алмаза. Существует четыре модификации  $Al_2O_3$ :  $\alpha$ - $Al_2O_3$  (корунд),  $\theta$ - $Al_2O_3$ ,  $\gamma$ - $Al_2O_3$ ,  $\kappa$ - $Al_2O_3$ , а так же ещё порядка пяти менее изученных кристаллических модификаций. Из них термодинамически стабильной является только  $\alpha$ - $Al_2O_3$ , которая широко используется в промышленности.

Основными свойствами оксида алюминия являются высокая теплопроводность и отличные изоляционные свойства.

Нитрид алюминия  $AlN$  – синтетическое кристаллическое вещество со структурой вюрцита. Представляет собой белый порошок с плотностью  $3,26$  г/см<sup>3</sup>. Температуры плавления и кипения соответственно равны  $2200^{\circ}C$  и  $2517^{\circ}C$ . Применяется в электронике и микроэлектронике в качестве высокотеплопроводного материала для подложек плат. Обладает устойчивостью к высоким температурам в инертных атмосферах.

Размер зёрен исходных порошков для синтеза не должен превышать  $1$  мкм. Чистота сырья не менее  $99,9\%$ .

## 1.2 Методы синтеза

Сложность синтеза ALON состоит в подборе правильных параметров для получения чистого однофазного  $\gamma$ -AlON с кристаллической структурой, обеспечивающей прозрачность материала. На данный момент существует около десятка различных методов синтеза оксинитрида алюминия, но многие из них практически неосуществимы в промышленных масштабах и не дают необходимого результата. Далее будут рассмотрены наиболее перспективные методы.

### 1.2.1 Высокотемпературный синтез

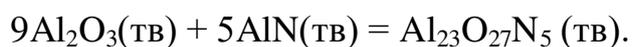
Высокотемпературный синтез, так же известный как метод горячего изостатического прессования HIP process, является наиболее эффективным и простым способом получения не только ALON, но и других керамических материалов. Заключается в спекании образцов из смеси чистых порошков оксида и нитрида алюминия под высоким давлением в среде азота и температуре около 2000°C. Различные исследования рассматривают синтез при давлениях как ниже, так и выше 1 атм. Условия синтеза могут варьироваться, но основой протекания реакции образования  $Al_{23}O_{27}N_5$  является равенство давления азота в среде и парциального давления азота над смесью порошков.

В результате спекания происходят твёрдофазные реакции между порошкообразными исходными материалами и их реакциями с газовой средой. Уплотнение материала происходит за счёт нарастания кристаллов и протеканием реакций с газовой фазой в порах.

Основная твёрдофазная реакция образования оксинитрида протекает при  $T > 1650^\circ\text{C}$ :



которая может быть записана в стехиометрическом виде как:



Согласно данным различных исследований [], скорость протекания реакции не превышает 15-30 минут. При этом скорость диффузии AlN ниже, что приводит к остаточному содержанию нитрида в конечном продукте (5-10 мас. %).

Оптические и прочностные свойства материала достигаются путём уменьшения пористости в процессе спекания. За счёт высокого давления ограничивается рост зёрен, тем самым достигается равномерная кристаллическая структура с минимальной плотностью.

Для высокотемпературного синтеза характерен следующий порядок стадий: смесь порошков чистотой не менее 99,9% загружают в специальную форму из олова или стекла при таком давлении, чтобы плотность смеси составляла 50-60 % от теоретической плотности конечного продукта []. Форму смазывают спиртовым раствором нитрида бора, чтобы предотвратить попадание компонентов формы в конечный продукт. Форма помещается в печь, где в атмосфере азота происходит одновременное прессование и спекание материала. Такой метод, совмещающий прессование и спекание, называют sinter/HIP process [].

Помимо этого существует press/HIP process, в котором стадия прессования происходит отдельно. Смесь порошков прессуют в образцы с помощью гидравлического пресса и только затем помещают в печь. Этот метод прост тем, что не требует изготовления специальной формы и применения дополнительного материала для смазывания формы. Однако недостатком такого двухстадийного синтеза является образование зернистой структуры, которая вызывает образование трещин и увеличивает пористость.

Время выдержки в обоих случаях является основным недостатком метода, т.к. для полного спекания необходимо порядка 12 часов. Это сопряжено с большими затратами электроэнергии.

## 1.2.2 Жидкофазный синтез

Жидкофазный синтез метод кардинально отличается от традиционного тем, что в нём отсутствует стадия спекания. Для него характерно получение обезвоженного геля с органической матрицей, содержащей необходимое для синтеза ALON соотношение атомов Al, N и O. Гель подвергается термической деструкции с последующим азотированием в аммиачной среде. Таким образом, получается порошкообразный ALON.

Метод впервые был использован в работе японских учёных для изучения реакционных свойств оксинитрида алюминия[1]. С тех пор было проведено не так много исследований, касаемо жидкофазного синтеза, хотя метод является перспективным. Таким способом оксинитрид был получен как межзёрная фаза карбида и нитрида кремния [2].

Исходными веществами для такого метода служат не порошки оксида и нитрида алюминия, а органические вещества, являющимися источниками атомов Al, N и O. В работах [3] использовалась мочевины, сахароза, глицин, а так же неорганические соединения азотнокислого алюминия и кристаллогидрата.

После термической деструкции полученный порошок оксинитрида спекают при температурах около 1200°C, что значительно ниже рекомендуемых для высокотемпературного синтеза 2000°C. Таким образом, жидкофазный синтез требует меньших энергетических затрат, а так же позволяет получать материалы различных сложных форм. Недостатком метода является высокая стоимость органического сырья, но эта проблема легко решается их заменой на неорганические дешёвые аналоги. При этом получается синтезировать ALON без каких-либо примесей, что продемонстрировано на рентгенограммах в работе российских исследователей[4].

### 1.2.3 Искроплазменное спекание

Искровое плазменное спекание, иначе, технология спекания в электрическом поле - относительно новая технология основанная на традиционном высокотемпературном синтезе. Это метод горячего прессования, при котором материал в пресс форме нагревается не за счёт внешнего нагревателя печи, а за счёт пропускания импульсного электрического тока через форму.

Высокие температуры, необходимые для протекания твёрдофазных реакций, достигаются благодаря «эффекту плазмы искрового разряда». Нагрев происходит быстро, что снижает время спекания. Скорость нагревания составляет порядка 700 град/мин. В среднем время выдержки спекаемого материала при максимальной температуре для ИПР составляет 4 часа, когда как для ИПС это время сводится к 60 мин. [].

Достоинством метода является однородность гранулометрического состава конечного продукта. При равномерном росте зёрен структура материала становится менее пористой, что является основой прочностных и оптических свойств оксинитрида алюминия. Так можно получать материалы с субмикронным или наноразмерным зерном.

Импульсный постоянный или переменный ток, проходя через форму, создает искровой разряд между частицами порошка и создаёт электрическое поле с эффектом плазмы. При этом на материал воздействует всестороннее давление. Давление оказывает механический, который отвечает за перегруппировку частиц и разрушение агломераций, тем самым интенсифицируя диффузию атомов в объёме частиц.

#### 1.2.4 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

Метод СВС был открыт в 1967 году российскими учеными А.Г. Мержановым, И.П. Боровинской и В.М. Шкиро, а именно само явление твердого пламени, на котором основан СВС []. В основе этого явления лежит экзотермическая реакция двух и более химических веществ, протекающая в режиме горения. Процесс осуществляется после инициирования экзотермической реакции и благодаря теплопередаче распространяется по всей системе горячих продуктов реакции к исходным веществам. Инициирование обычно осуществляется локальным взрывом, вызывающим горение, которое затем распространяется самостоятельно по остальному материалу в виде волны.

СВС позволяет быстро (скорость нагрева 103-106 град/с) достичь высоких температур вплоть до 3000°C, что достаточно для синтеза оксинитрида.

Движение фронта горения зависит от количества газа в порах материала. Для обеспечения необходимого количества газа осуществляется фильтрационное горение, которое происходит в результате возникновения разности давления у фронта и в объеме образца. В случае синтеза ALON фронт горения азота перемещается за счет поглощения газа во фронте горения. Таким образом, газ засасывается в поры из окружающей среды. В случае сохранения пор после прохождения через них фронта, газ может подводиться к зоне реакции одновременно как по несгоревшей, так и по сгоревшей части образца.

По технологическим стадиям такой метод схож с высокотемпературным синтезом.

### 1.3 Добавки

Как уже было ранее упомянуто, уникальные оптические и прочностные свойства оксинитрида алюминия обеспечиваются кристаллической структурой и плотной упаковкой зёрен. Каждый из методов синтеза направлен на уменьшение пористости. Для более плотного спекания используются различные спекающие добавки в таких количествах, чтобы не повлиять на чистоту конечного продукта.

В качестве англомерационных добавок используют оксиды  $Y_2O_3$ ,  $MgO$  и  $La_2O_3$ . Добавки выбираются по близости атомных радиусов или валентностей к атому алюминия  $Al^{3+}$ . Соединения добавляют в исходную смесь в количестве около 0,5 мас. %. Наибольший интерес представляет оксид иттрия.

Добавки оказывают следующее влияние на процесс спекания []:

1. Интенсифицируют синтез за счёт образования легкоплавких эвтектик, заполняющих поры и способствующих диффузии вещества на границах зёрен;
2. Из-за близостей атомных радиусов и валентностей к атому алюминия, занимают вакансии в кристаллической решётке;
3. Выступают в качестве зародышей кристаллов;
4. Добавки, имеющие больший атомный радиус, чем атом алюминия, после формирования твёрдой фазы ALON, искажают кристаллическую решётку, что способствует переносу массы в процессе спекания.

Эффективность использования добавок подтверждена многими исследованиями []. ALON, синтезированный в их присутствии, обладает меньшей пористостью и большей плотностью.

## 1.4 Области применения

Благодаря своим высоким механическим и оптическим свойствам, наиболее широкий интерес AlON представляет в качестве эффективной замены бронестеклу. Это могут быть как окна для наземного и воздушного транспорта, так и составляющие бронежилетов. Известно использование оксинитрида для гражданских автомобилей.

На презентации Cybertruck Tesla было наглядно продемонстрировано, что при сильных ударах стекло трескается, но не разлетается на осколки, что повышает безопасность водителя и пассажиров []. Аналогично AlON может быть использован для иллюминаторов в аэрокосмической промышленности.

В более бытовой сфере из оксинитрида могут быть изготовлены сканеры для штрих-кодов, которые подвергаются частому механическому воздействию. Использование прочного AlON повысит срок службы сканеров.

В радиоэлектронике AlON выступает отличным заменителем сапфира. Синтез кварца заключается в выращивании кристаллов, что сложнее, чем спекание порошков, которое чаще всего используется для изготовления AlON промышленных масштабах.

Помимо вышеперечисленного, AlON может быть использован как добавка для получения огнеупоров на основе гексаалюмината кальция. Композитный материал, полученный в конечном результате, обладает более высокими шлакоустойчивостью и коррозионной устойчивостью.

## 2 Методы исследования

Для исследования свойств синтезированного оксинитрида алюминия применяются стандартные и широко известные методы исследования кристаллических тел. Чтобы подтвердить образование необходимой кристаллической фазы используется рентгенофазовый анализ. Прозрачность и прочность ALON обеспечиваются его плотноспечённой структурой, поэтому далее будут рассмотрены методики определения пористости, плотности, водопоглощения, а для визуального анализа сформированной структуры - электронная микроскопия.

### 2.1 Рентгенофазовый анализ

Данные о структуре кристаллов можно получить на основании визуальных наблюдений - измерение граней кристаллов - и исследования физических свойств, таких как: электрическое сопротивление, упругие сопротивления, оптические характеристики. Однако плотное расположение атомов в кристаллической решетке делает эти методы грубыми, следовательно, по ним нельзя установить взаимное расположение атомов в решётке. Расстояние между атомами в кристаллической решетке колеблется от единиц до полутора десятков ангстрем. Видимый свет имеет длину волны 4000-8000 Å, что намного больше межатомных расстояний. Это делает невозможным использование видимого света для анализа структуры кристалла. Для таких целей подходит рентгеновское излучение.

Рентгеновское излучение обладает большой проникающей способностью, и используются в медицине, для исследования структуры кристаллов и сложных органических молекул.

РФА основан на способности рентгеновских лучей отражаться от узлов кристаллической решётки и создавать картину рефлексов, подобно

тому, как видимый свет проходит через дифракционную решётку. Отражение рентгеновских лучей представлено на рисунке 1.

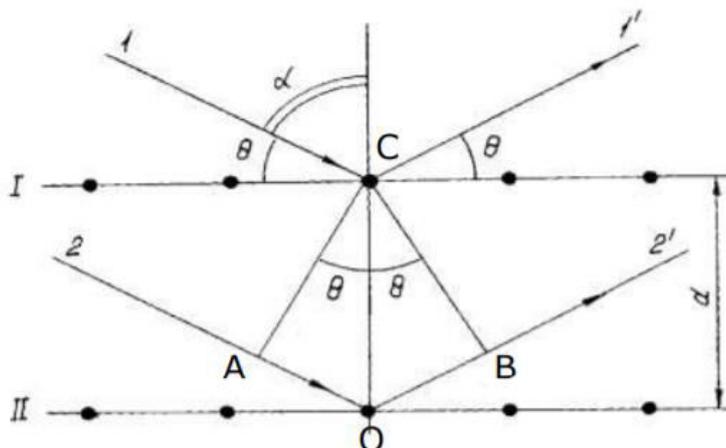


Рисунок 2.1 - Дифракция рентгеновских лучей от плоскостей кристаллической решетки [1].

Условие дифракции выводится математически и имеет конечный вид и называется уравнение Вульфа-Брэгга:

$$2d \cdot \sin\theta = n\lambda,$$

где  $d$  - постоянная решётки, нм;

$\lambda$  - длина волны излучения, нм;

$n=1,2,3 \dots$  – порядок отражения.

С помощью РФА можно провести определить следующие параметры:

1. Кристаллические фазы в веществе (качественный РФА);
2. Количественное содержание кристаллических фаз в многофазном материале (количественный РФА);
3. Размеры элементарной ячейки кристалла;
4. Микронапряжения кристаллической решетки, размеры зёрен кристаллов;
5. Тип твердого раствора, степени его упорядоченности, границ растворимости.

Для работы использовалась установка ДРОН-3М, схема которого представлена на рисунке 2.

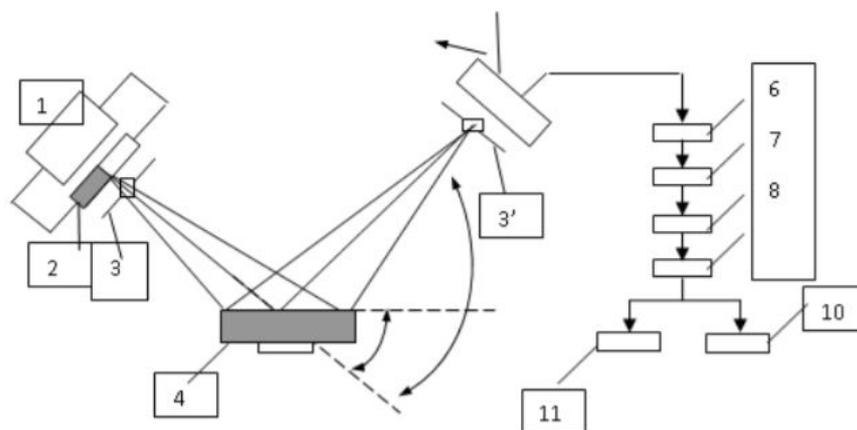


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема дифрактометра ДРОН-3М []:

1 - генераторное устройство; 2 - рентгеновская трубка; 3, 3' - диафрагмы; 4 - образец; 5- счётчик; 6 - фотоэлектронный умножитель; 7 - усилитель; 8 - дискриминатор; 9 - пересчётная схема; 10 - самописец; 11 - измеритель интенсивности.

Для съёмки рентгенограммы чаще всего используются порошки исследуемого вещества, прошедшего через сито 0063. Порошок насыпается и фиксируется в углублении специальной кюветы из кварцевого стекла. Стоит отметить, что сильное истирание порошка может привести к разрушению решётки и полиморфным превращениям. Оксинитрид алюминия не претерпевает таких превращений при температурах, возникающих при механическом истирании.

После получения значений углов  $2\theta$  и соответствующих им импульсов, рассчитывается параметр решётки  $d$  по формуле Вульфа-Брэгга в следующем виде:

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}$$

Используя данные о пиках и параметрах решёток других кристаллических веществ, производится расшифровка полученной рентгенограммы. Для удачно синтезированного ALON экспериментальные значения должны соответствовать пикам ALON из базы данных.

## 2.2 Рентгенофлуоресцентный анализ

РФСА – один из методов рентгеноспектрального анализа, так же как и РФА основанный на взаимодействии исследуемого кристаллического вещества с рентгеновским излучением. Достоинствами РФСА перед РФА являются меньшая зашумлённость получаемых данных, возможность анализировать вещество в различных агрегатных состояниях, отсутствует необходимость подготовки образца, проведение элементного анализа в широком диапазоне концентраций.

Метод рентгенофлуоресцентного анализа основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При облучении образца рентгеновским излучением возникает характеристический флуоресцентный поток атомов, который пропорционален их концентрации в образце. Флуоресцентный поток вызывает испускание образцом электронов. Из-за этого в одной или более электронных орбиталях образуются вакансии, атомы переходят в возбужденное, нестабильное состояние. Через миллионные доли секунды атомы возвращаются к стабильному состоянию когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних орбиталей. При таких переходах происходит испускание энергии в виде вторичного фотона, т.е. происходит флуоресценция. Энергия вторичного фотона находится в диапазоне энергий в спектре электромагнитных колебаний между ультрафиолетом и  $\gamma$ -излучением.

Выделяют пять атомных орбиталей K, L, M, N и O. При переходе электронов с одной орбитали на последующие выделяется определённое количество энергии с определённой длиной волны. Длина волны флуоресценции является индивидуальной характеристикой каждого элемента и называется характеристической флуоресценцией. Число фотонов, поступающих за единицу времени, называемое интенсивностью, пропорционально концентрации соответствующего элемента в образце.

Основными составляющими частями рентгенофлуоресцентного спектрометра являются: рентгеновская трубка с блоком питания, кюветодержатель, полупроводниковый детектор рентгеновского излучения из Si(Li) и спектрометрическое устройство обработки сигналов. Образец помещают в кюветодержатель и облучают электромагнитным излучением, генерирующимся в рентгеновской трубке. Энергия и интенсивность излучения трубки задаются регуляторами на блоке питания. Флуоресценция, проникая за пределы кюветодержателя, регистрируется твердотельным ионизационным детектором. Сигнал оцифровывается, усиливается и передаётся на компьютер для обработки данных. Схема рентгенофлуоресцентного спектрометра представлена на рисунке.

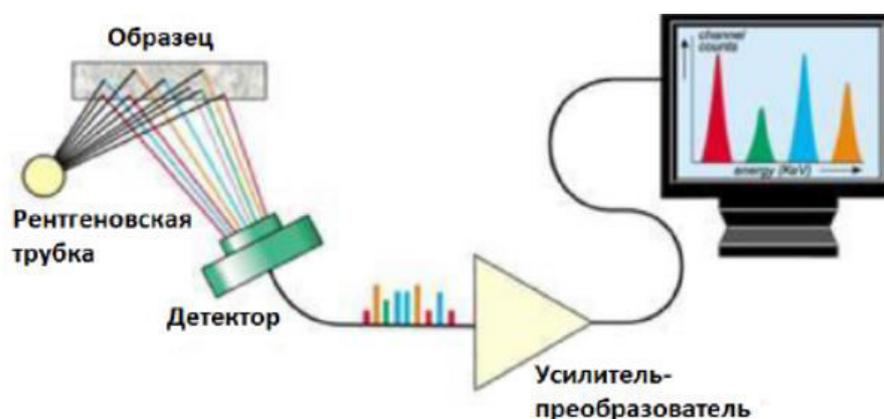


Рисунок 2.3 - принципиальная схема рентгенофлуоресцентного спектрометра [1].

Результаты РФСА представляются в виде диаграммы число импульсов-энергия. Для идентификации легких элементов до La используют спектральные линии К-серии, для тяжелых элементов - спектральные линии L - серии. Полученный спектр сверяют с характеристическими спектрами различных элементов, чтобы определить содержание элементов в образце.

Для некоторых элементов энергии схожи, поэтому следует проверять наличие сопутствующих  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  характеристических излучений.

## 2.3 Растровая электронная микроскопия

РЭМ позволяет визуально исследовать структуру вещества: форму кристаллов, зёрен, оценить структуру и размер пор. Основан на излучении образца сфокусированным пучком электронов, иначе, электронным зондом.

Зонд совершает возвратно-поступательные движения по линии, тем самым снимая растр. Растр это совокупность близко расположенных параллельных линий, вдоль которых электронный зонд проходит выбранный для исследования участок поверхности образца. При этом происходит возбуждение излучения, которое фиксируется специальным прибором. Материал образца генерирует вторичные электроны, тем самым происходит облучение внешних электронных оболочек. В результате наблюдается рельеф поверхности исследуемого образца.

Схема излучения представлена на рисунке.

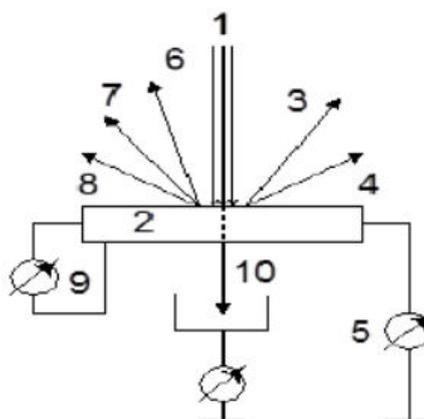


Рисунок 2.4 - Эффекты, возникающие при взаимодействии пучка электронов с веществом:

1 - электронный пучок; 2 - образец; 3 - отраженные электроны; 4 - вторичные электроны; 5 - ток поглощенных электронов; 6 - катодолюминесценция; 7 - рентгеновское излучение; 8 - эмиссия электрона из атома; 9 - наведенный ток; 10 - прошедшие электроны.

В работе был использован сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JEOL JSM-7500FA (Япония).

## 2.4 Измерение пористости, водопоглощения и кажущейся плотности

Пористость, плотность и водопоглощение являются связанными величинами, в совокупности характеризующими завершенность процесса спекания материала. От них зависят механические, оптические и тепловые свойства материала. Достоинством этих методов является простота аппаратного оформления и вычислений, а так же быстрота проведения измерений.

Разделяют общую, открытую и закрытую пористость материалов. Открытая пористость характеризуется отношением общего объема пор образца, т.е. сумма открытых и закрытых пор, к его объему. Выражается в процентах. Закрытая пористость – отношение объема замкнутых пор к объему тела, включая объем всех пор. Аналогично открытая пористость – отношение объема открытых пор образца к его общему объему. Открытую пористость так же называют кажущейся.

Плотность бывает истинной, кажущейся, относительной и насыпной. Истинная зависит от строения кристаллов и плотности упаковки атомов. Определяется отношением массы тела к его объему без учета всех пор. Кажущаяся плотность – отношение массы материала к объему вместе с порами. Насыпная измеряется для порошкообразных материалов и бывает свободной и с утряской. Эти три вида измеряются в  $\text{г/см}^3$ . Относительная плотность отражает отношение кажущейся плотности к истинной и измеряется в процентах или долях.

Водопоглощение – отношение массы воды в порах тела при полном насыщении образца к его сухой массе. Выражается в процентах.

Для данной работы проводились измерения кажущейся плотности, открытой пористости и водопоглощения. Все эти величины связаны и вычисляются после проведения серии испытаний, основанных на взвешивании образца в соответствии с ГОСТ 2409-2014.

Сначала определяется масса сухого образца. Образец сушат в диапазоне температур 110-135 °С до постоянной массы. В случае отбора образцов непосредственно после обжига, стадию сушки можно пропустить. Перед каждым взвешиванием образец охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. Негидратирующиеся образцы можно охлаждать на воздухе. Для измерения массы используют лабораторные весы с точностью измерений до четвёртого знака. Результаты взвешиваний записывают в граммах.

Затем образцы насыщают водой с помощью оборудования для вакуумирования до давления не выше 2,5 кПа и поддерживают это давление в течение 10-30 мин. Образцы при этом находятся в ёмкости с жидкостью, полностью покрывающей поверхность образцов.

Массу насыщенного образца с помощью устройства для гидростатического взвешивания при полном погружении пропитанного образца в насыщающую жидкость. При взвешивании уровень жидкости в сосуде поддерживают постоянным.

Для измерения массы насыщенного образца на воздухе его извлекают из сосуда с жидкостью, удаляют с его поверхности избыточную влагу губкой или хлопчатобумажной тканью, которую смачивают в насыщающей жидкости и перед использованием слегка отжимают. Взвешивание проводят на тех же лабораторных весах, что использовались для взвешивания сухих образцов.

Имея необходимые значения масс, рассчитывают величины по следующим формулам:

$$\text{Кажущаяся плотность: } \rho_{\text{каж}} = \frac{m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас.ж}} - m_{\text{гидр}}} \rho_{\text{ж}};$$

$$\text{Открытая пористость: } P_{\text{отк}} = \frac{m_{\text{нас.ж}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас.ж}} - m_{\text{гидр}}} 100;$$

$$\text{Водопоглощение: } W = \frac{m_{\text{нас.ж}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100,$$

Где  $m_{\text{сух}}$  - масса сухого образца, г;

$m_{\text{нас.ж}}$  - масса пропитанного образца на воздухе, г;

$m_{\text{гидр}}$  - масса пропитанного образца, погруженного в жидкость, г;

$\rho_{\text{ж}}$  - плотность насыщающей жидкости при температуре испытаний,  
г/см<sup>3</sup>.

Все данные сводятся в таблицу.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г7А	Гришаева Елизавета Дмитриевна

Инженерная школа	Новых производственных технологий	Отделение	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление / специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Литературные источники; 2. Методические указания по разработке раздела; 3. Тарифные ставки исполнителей штатного расписания НИ ТПУ; 4. Налоговый кодекс РФ; 5. ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала разработки;	1. Измерение характеристик, описывающих качество и перспективность новой разработки на рынке в сравнении с конкурентами;
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения разработки;	2. Определение структуры работ и трудоемкости, разработка графика проведения исследования;
3. Составление бюджета НИР;	3. Расчет бюджетной стоимости НИР;
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности разработки и потенциальных рисков.	4. Расчет показателей: интегрального финансового, интегрального ресурсоэффективности, интегрального эффективности.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.01.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г7А	Гришаева Елизавета Дмитриевна		

### Введение

Продукт, даже на стадии разработки, нуждается в оценке коммерческой эффективности. В таком случае говорят о коммерческой ценности научной разработки или инженерного проекта. Это необходимо для дальнейшего поиска источников финансирования и коммерциализации результатов инженерного проекта. При этом нужно учитывать, что проект должен отвечать условиям эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения. Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления проектом - один из важных вопросов стратегического менеджмента, так как ресурсоемкость является второй стороной товара, когда первой является его качество.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: проектирование и создание конкурентоспособной разработки, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

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.

Целью исследовательского проекта, является подбор исходных порошков, их дисперсности и соотношения для синтеза бездобавочного оксинитрида алюминия.

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

Для оценки коммерческого потенциала продукта необходимо проанализировать рынок, конкурентов, внешнюю и внутреннюю среду научно-исследовательского проекта.

##### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продуктом научно-исследовательского проекта является оксинитрид алюминия или ALON, представленный в виде прозрачных бронестойких стёкол, область применения которых обширна. Основными потребителями такого продукта являются изготовители брони, иллюминаторов для наземной и воздушно-технической, как военной, так и гражданского назначения.

Для наглядного представления рынка оксинитрида алюминия составлена карта сегментирования [таблица 4.1].

Таблица 4.1 - карта сегментирования рынка

Размер компании	Вид продукции		
	Бронестекло (военная промышленность)	Бронестекло (гражданская промышленность)	Стекла для смартфонов, сканеров штрих-кодов и т.р.
Крупные			
Средние			
Мелкие			

Из-за особенностей и сложности синтеза оксинитрида, его обслуживание (комплектация продукции) или даже производство мелкими

компаниями экономически невыгодно. Более того, для эффективного производства ALON необходимо сопровождение производства собственным или посредническим НИОКР. Таким образом, оксинитрид алюминия ориентирован для крупных компаний.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Производство ALON изделий в мировых масштабах является очень небольшой отраслью, т.к. технология синтеза оксинитрида сложна и всё ещё находится в процессе исследования. На данный момент крупнейшим производителем ALON стёкол является компания США SurmetCorporation, который так же держат патент технологии производства оксинитрида.

Так же есть все основания полагать, что бронестекло Cybertruck Tesla выполнено из оксинитрида алюминия, т.к. производитель заявляет, что стёкла выполнены из соединения алюминия, а ALON – единственный на данный момент керамический материал на основе алюминия, способный образовывать прозрачную фазу.

Изделия из ALON по своим механическим свойствам превосходят бронестойкие изделия из стекла, поэтому отрасль бронестекла в анализе не учитывается, как потенциально проигрывающая.

Для анализа конкурентоспособности составлена оценочная карта, где с помощью бальной системы сравнены стёкла из исследуемого бездобавочного оксинитрида алюминия ( $B_{\phi}$ ), стёкла SurmetCorporation ( $B_{к1}$ ) и стёкла Cybertruck Tesla ( $B_{к2}$ ).

Таблица 4.2 - Оценочная карта сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Выход продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
2. Энергоемкость процессов	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5

3. Надежность	0,2	4	5	3	0,8	0,8	0,6
4. Безопасность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Цена	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
7. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Итого:	1				4,3	4,4	4

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

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

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что рассматриваемый ALON по бездобавочной технологии не сильнее отличается по конкурентоспособности от лидера отрасли SurmetCorporation. Стоит отметить, что на российском рынке ещё нет конкурентов в этой области, поэтому среди существующих производителей традиционных бронестойкий изделий, ALON не будет иметь конкурентов.

### 4.1.3 SWOT-анализ

Для анализа внешней и внутренней среды исследовательского проекта проводится SWOT-анализ. SWOT – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Иными словами, это анализ устойчивости проекта на рынке. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Первый этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Увеличение твердости и пористости; С2. Низкая стоимость производства в сравнении с другими методами; С3. Уменьшение стоимости за счёт отсутствия добавок и улучшения свойств малозатратной стадией гранулирования.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Высокие затраты энергии на обжиг; Сл.2 Высокая стоимость оборудования.
<b>Возможности:</b> В1. Спрос на новый продукт; В2. Широкий рынок сбыта; В3. Использование научно-технического потенциала НИ ТПУ.	Продукт имеет большую конкурентоспособность благодаря возможности корректировать свойства продукта и нивелировать какие-либо недостатки технологического оснащение производства путём изменения состава исходных порошков, режимов обжига, дисперсностью порошков и гранулята.	Допустив увеличение спроса на конечный продукт, есть вероятность что будет нехватка времени и производственных сил для ее реализации.

<b>Угрозы:</b> У1. Изначальная малотоннажность производства и ограничения на экспорт; У2. Рост конкуренции; У3. Сертификация нового продукта.	Продвижение новой технологии с целью появления спроса. Своевременное государственное обеспечение исследования	Главной угрозой проекта является возможное увеличение цены на оборудование. Продвижение новой технологии с целью появления спроса
--	--	--

Второй этап SWOT-анализа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Результаты анализа представлены в интерактивной матрице [таблица 4.4]

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны			Слабые стороны	
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2
Возможности	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	-	+	-	-
	В3	+	-	-	-	-
Угрозы	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	+	+	-	+

По результатам SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, его угрозы и возможности. За счёт возможностей можно компенсировать слабые стороны, а угрозы устраняются сильными сторонами. Результаты SWOT анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В состав группы научного исследования входят: студент, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. В разработке графика учтены студент и научный руководитель.

Работы, необходимые для проекта, распределены между участниками группы и представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на НИ	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент

Изготовление и испытание образцов	6	Изготовление опытного образца	Студент
	7	Лабораторные испытания образца, обработка полученных данных	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Написание пояснительной записки о выполненной работе	Студент

Работы распределены с учётом выгодного использования времени и поставленными перед студентом задачами обучения, согласно компетенциям ООП.

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется формула:

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

где  $t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел-дн.;

$t_{\min i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел-дн.;

$t_{\max i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел-дн.;

$Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов представлены в таблице 6.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для наглядного представления графика научного исследования составлен ленточный график в виде диаграммы Ганта [таблица 4.7].

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 формулой:

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

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

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

где  $T_{\text{кал}}$  - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

Таким образом для пятидневной рабочей недели 2021 года:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Результаты составления плана научной исследовательской работы приведены в таблице 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6 - Временные показатели проведения научного исследования

	Название работы	Трудоемкость работ						T <sub>pi</sub> , раб.дни		T <sub>ki</sub> , раб.дни	
		t <sub>min i</sub> , чел.-дни		t <sub>max i</sub> , чел.-дни		t <sub>ож i</sub> , чел.-дни					
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Составление задания на НИ	2	0	3	0	2,4	0	2,4	0	4	0
2	Выбор направления исследований	5	5	10	10	7	7	3,5	3,5	5	5
3	Подбор и изучение материалов по теме	5	5	10	10	7	7	3,5	3,5	5	5
4	Календарное планирование работ по теме	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	0	20	0	25	0	22	0	22	0	33
6	Изготовление опытного образца	0	5	0	10	0	7	0	7	0	10
7	Лабораторные испытания образца, обработка полученных данных	0	3	0	9	0	5,4	0	5,4	0	8
8	Анализ полученных результатов	3	3	9	9	5,4	5,4	2,7	2,7	4	4
9	Оценка эффективности и полученных результатов	4	4	9	9	6	6	3	3	4	4
10	Написание пояснительной записки о выполненной работе	0	8	0	16	0	11,2	0	11,2	0	17

Исп.1 - научный руководитель;

Исп.2 - студент;

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения НИР

Этапы	$T_{ki}$ , кал. дн.		Февраль		Март			Апрель			Май		
	И1	И2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление задания на НИ	4	0											
Выбор направления исследований	5	5											
Подбор и изучение материалов по теме	5	5											
Календарное планирование работ по теме	3	3											
Проведение теоретических расчетов и обоснований	0	33											
Изготовление опытного образца	0	10											
Лабораторные испытания образца, обработка полученных данных	0	8											
Анализ полученных результатов	4	4											
Оценка эффективности полученных результатов	4	4											
Написание пояснительной записки о выполненной работе	0	17											
				- руководитель;			- студент;						

В результате выполнения подраздела разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и студента, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей.

### 4.3 Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета НИР используется следующая группировка затрат по статьям:

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

### 4.3.1 Расчет материальных затрат НИР

В эту статью включаются затраты на приобретение всех материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения научно исследовательской работы. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). Результаты по данной статье заносятся в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Материальные затраты НИР

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена единицу, руб.	Сумма, руб.
Оксид алюминия	г	300	0,6	180
Нитрид алюминия	г	60	1	60
Изопропиловый спирт	мл	600	0,7	420
Всего за материалы				660
Транспортно-заготовительные расходы				33
Итого по статье $C_M$				693

### 4.3.2 Специальное оборудование для НИР

Определение стоимости спецоборудования производили по действующим прейскурантам с учетом НДС. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования для исследования оксинитрида алюминия представлены в таблице 4.9.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = C/n * t, \text{ где}$$

C - первоначальная стоимость оборудования, руб.;

n - количество лет использования;

t - время использования для исследования, года.

Таблица 4.9 - Затраты на спецоборудование для НИР

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Время использования, раб.дни	Срок службы	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизация оборудования, руб.
1	Высокотемпературная печь	1	5	4	4990070	17089
2	Гидравлический пресс	1	10	16	2600	4
3	Планетарная мельница Pulverisette	1	2	9	1410000	858
4	Сушильный шкаф	1	2	13	40000	17
5	Весы	1	24	9	60000	438
6	Пресс-форма	1	10	15	6000	11
Итого						18418

Суммарные затраты амортизационных отчислений 18418 руб.

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата рассчитывается на научного руководителя и студента в рамках трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В основную заработную плату включена премия в размере 20-30 % от тарифа или оклада, выплачиваемая каждый месяц из фонда заработной платы:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}.$$

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  - продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

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 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни	52/14	104/14
- праздничные дни		

Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_{tc}$  - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  - премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ ,руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285,0	2142,0	25	53550,6
Студент	9893	0,3	0,2	1,3	19291,4	968,9	89	86231,5
Итого $Z_{осн}$								139782,1

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИР

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для научного руководителя:  $Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 53550,6 \cdot 0,15 = 8032,59$  руб.

Для студента:  $Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}} = 86231,5 \cdot 0,15 = 12934,7$  руб.

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

#### 4.3.5 Отчисления на социальные нужды

В статье расходов – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{внеб}},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Для научного руководителя:  $Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{внеб}} = (53550,6 + 8032,59) \cdot 0,3 = 18474,957$  руб.;

Для студента:  $Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{внеб}} = (86231,5 + 12934,7) \cdot 0,3 = 29749,86$  руб.

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = Z_{\text{раб}} \cdot k_{\text{накл}} = 160749,4 \cdot 0,3 = 48224,82 \text{ руб.}$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C = W * t * P,$$

где  $W$  - мощность электроприбора, выраженная в киловаттах;

$t$  - время использования оборудования, час;  $P$  - стоимость электроэнергии, на сегодняшний день составляет 2,45руб/кВт.

$$C_{\text{печь}} = 40 \cdot 24 \cdot 5 \cdot 2,45 = 11760 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{мельница}} = 1,1 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 2,45 = 129,36 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{суш.шкаф}} = 0,86 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 2,45 = 101,14 \text{ руб.};$$

$$\text{Итого } C_{\text{общ}} = 11760 + 129,36 + 470,4 = 11990,5 \text{ руб.}$$

Таблица 4.12 - Полная смета затрат на выполнение НИР

Статья затрат	Затраты, руб
Материальные затраты	693
Заработная плата (с учётом дополнительной)	160749,4
Отчисления на социальные нужды	48224,82
Амортизация	18418
Затраты на электроэнергию	11990,5
Накладные затраты	48224,82
Итого	240075,72

#### 4.4 Реестр рисков проекта

Выявленные риски проекта включают в себя возможные неопределённые события, которые могут возникнуть в проекте и вести к негативным последствиям. Анализ рисков приведён в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Реестр рисков

№	Риск	Потенциальные последствия	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Выход из строя источника напряжения	Задержка в выполнении плана	2	3	Средний	Соблюдение техники эксплуатации	Человеческий фактор
2	Выход из строя оборудования для изготовления образцов	Задержка в выполнении плана	2	4	Средний	Соблюдение техники эксплуатации	Износ оборудования
3	Несоблюдение алгоритма подготовки образцов	Некорректные итоговые результаты	2	5	Высокий	Соблюдение последовательности шагов	Человеческий фактор

#### 4.5 Определение сравнительной эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

$\Phi_{ri}$  - стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

В качестве вариантов исполнения сравнено исполнение рассматриваемого НИР и альтернативный вариант:

1. Изготовление образцов-таблеток бездобавочного оксинитрида алюминия со стадией грануляции и без неё путём формования таблеток из исходного сырья и дальнейший их обжиг.

2. Изготовление образцов-таблеток бездобавочного оксинитрида алюминия со стадией грануляции и без неё с помощью спекания сырья в виде порошка и дальнейшее формование конечных таблеток.

Наиболее сложным в исполнении является получение ALON жидкофазным синтезом, поэтому максимальная стоимость будет принята для стоимость этого метода. Тогда:

$$I_1^{\text{ф.р}} = 0,3; I_2^{\text{ф.р}} = 0,46.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля). Оценка характеристик проекта в сравнении с вариантами исполнения представлена в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исполнение НИР	Альтернативный вариант
1. Надежность	0,2	4	2
2. Материалоемкость	0,2	3	4
3. Энергоемкость процессов	0,25	4	2
4. Удобство эксплуатации	0,15	4	1
5. Безвредность	0,2	3	2
Интегральный показатель эффективности	1	3,6	2,25

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

$$I_1 = \frac{I_{p1}}{I_1^{\Phi.p}} = \frac{3,6}{0,3} = 12$$

$$I_2 = \frac{I_{p2}}{I_2^{\Phi.p}} = \frac{2,25}{0,46} = 4,89$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{12}{4,89} = 2,45$$

Таблица 4.15 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,3	0,46
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,6	2,25
3	Интегральный показатель эффективности	12	4,89
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,45	0,41

В итоге рассматриваемый в работе вариант является наиболее выгодным в сравнении со своим аналогом, который возможно воспроизвести в условиях лаборатории проекта.

#### Вывод

В результате проведенной работы была создана конкурентоспособная разработка, рынок которой представлен преимущественно крупными компаниями военного и гражданского назначения, которая имеет большой потенциал для реализации на рынке РФ. Полная стоимость научно-исследовательской работы составила 240075,72 руб. В ходе анализа сравнительной эффективности проекта, было установлено, что разработка является эффективной.