

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

Институт Физики Высоких Технологий  
 Направление подготовки – Химическая технология  
 Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка состава высокотеплопроводного материала на основе AlN</b>

УДК 666.65:661.86

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Абрамов Артём Олегович		23.05.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц Александр Андреевич	К. Т. Н.		07.06.16

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская Марина Витальевна	К. Э. Н.		20.04.2016 г.

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К. Т. Н.		23.05.2016

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

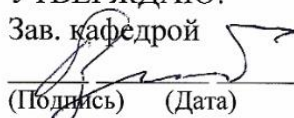
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТСН	Погребенков Валерий Матвеевич	Д. Т. Н.		27.06.16

**Планируемые результаты обучения  
по ООП 18.03.01 (240100) Химическая технология**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, 16 ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

Институт Физики Высоких Технологий  
Направление подготовки – Химическая технология  
Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Г21	Абрамову Артёму Олеговичу

Тема работы:

Разработка состава высокотеплопроводного материала на основе AlN

Утверждена приказом директора (дата, номер)

22.03.2016, 2267/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

08.06.2016

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Объект исследования – алмонитридный керамический материал с добавлением синтетического алмаза.

Цель работы – разработка состава высокотеплопроводного керамического материала на основе нитрида алюминия и алмаза.

Используемые материалы – нитрид алюминия производства Stark (grade B); микропорошки алмаза трех марок, отличающиеся размером фракции.

Обжиг производится в вакуумной печи.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Аналитический обзор литературных источников; 2. Постановка цели и задач исследования; 3. Выбор и описание методов исследования; 4. Анализ исходных материалов; 5. Экспериментальные исследования получения керамического материала на основе нитрида алюминия и алмаза; 6. Анализ полученных результатов и оценка дальнейших перспектив развития работы;
<b>Перечень графического материала</b>	


**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна


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


<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	23.03.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц Александр Андреевич	к. т. н.		23.03.16

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Абрамов Артём Олегович		23.03.16



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

Институт Физики Высоких Технологий  
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01 «Химическая технология»  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Кафедра Технологии Силикатов и Наноматериалов  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

<b>Бакалаврская работа</b>
----------------------------

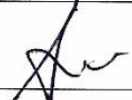
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**


Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.06.2016	Основная часть	70
20.04.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
23.05.2016	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дитц Александр Андреевич	К. Т. Н.		23.03.16

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Погребенков Валерий Матвеевич	Д. Т. Н.		25.03.16.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 с., 25 рис., 26 табл., 35 источников.

Ключевые слова: нитрид алюминия, алмаз, керамика, высокая теплопроводность, полиморфные превращения.

Объектом исследования является алюмонитридный керамический материал с добавлением алмаза.

Цель работы – разработка состава высокотеплопроводного керамического материала на основе нитрида алюминия с добавлением алмаза.

В процессе исследования проводились эксперименты по выявлению возможных химических и полиморфных превращений в системе алмаз – нитрид алюминия при нагревании.

В результате исследования сделаны выводы о влиянии размера алмазной фракции и температуры обжига на возможность применения алмаза в технологии получения алюмонитридной керамики.

Степень внедрения: проводится НИОКР.

Область применения: электроника, микроэлектроника, теплоотвод.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение новых материалов и технологии позволяет создавать более конкурентные приборы, за счет снижения массогабаритных характеристик и повышения мощности электронных приборов.

## Содержание

Введение.....	10
1. 1. Обзор литературы .....	11
1.2. Физические свойства алмаза.....	15
1.3. Химические свойства алмаза .....	20
1.4. Теплофизические свойства алмаза .....	23
1.5. Электрофизические свойства алмаза .....	25
1.6. Область применения алмаза.....	26
1.6.1. Абразивные материалы .....	27
1.6.2. Микроэлектроника .....	30
1.6.3. Композиты с высокой теплопроводностью	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.7. Проблематика и обоснование проведения работы .....	33
2. Методы исследования и материалы .....	35
2.1. Цели и задачи работы .....	35
2.2. Методы исследования.....	35
2.2.1. Рентгенофазовый анализ .....	35
2.2.2. Растровая электронная микроскопия .....	36
2.2.3. Определение насыпной плотности.....	38
2.3. Применяемые материалы .....	39
2.3.1. Нитрид алюминия .....	39
2.3.2. Синтетический алмаз .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3. Экспериментальная часть.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1 Описание схемы приготовления образцов	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

3.2. Термическая обработка .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.3. Обжиг образцов .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.4. Рентгенофазовый анализ обожжённых образцов	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.5. Выводы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	57
4.1. Планирование научно-исследовательских работ.....	57
4.1.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	57
4.1.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....	59
4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	59
4.1.4. Бюджет научно-технического исследования .....	65
4.1.4.1. Материальные затраты .....	65
4.1.4.2. Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ .....	65
4.1.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы .....	66
4.1.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	68
4.1.4.5. Накладные расходы .....	69
4.1.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	69
4.2. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	70
5. Социальная ответственность .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.1. Производственная безопасность ....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.1.1. Анализ вредных факторов.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>



- 5.1.1.1. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны ..... **Ошибка!**  
**Закладка не определена.**
- 5.1.1.2. Повышенная температура воздуха рабочей зоны..... **Ошибка!**  
**Закладка не определена.**
- 5.1.2. Анализ опасных факторов..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.1.2.1. Токсическое воздействие на организм человека ..... **Ошибка!**  
**Закладка не определена.**
  - 5.1.2.2. Электрический ток ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.1.2.3. Движущиеся машины и механизмы **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.1.2.4. Повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов. .... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2. Экологическая безопасность..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.2.1. Защита селитебной зоны ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.2.2. Защита атмосферы ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.2.3. Защита гидросферы..... **Ошибка! Закладка не определена.**
  - 5.2.3. Защита литосферы..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- Список публикаций студента..... 83
- Список использованных источников ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## Введение

Алмаз – уникальный материал, который помимо максимальной для всех известных материалов твердости обладает также самой высокой теплопроводностью, которая в 2 – 5 раз превышает теплопроводность меди и серебра – лучших металлических проводников тепла – при температуре 300 К.

Вместе с тем высокие диэлектрические свойства алмаза делают его материалом, который может быть использован в качестве теплоотвода в современных изделиях микроэлектроники. В настоящее время в качестве такого теплоотводящего материала широко применяется керамика на основе оксида бериллия, теплопроводность которого составляет 220-250 Вт/м·К. Однако производство оксида бериллия является чрезвычайно токсичным.

В связи с этим в настоящее время стоит вопрос о поиске альтернативного материала-теплоотвода с высокими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью. В данной работе изучается возможность применения композитного материала на основе нитрида алюминия (теплопроводность 180 Вт/м·К) с добавлением микропорошков алмаза (теплопроводность может достигать 2000 Вт/м·К). Необходимо отметить, что теплопроводность композиционных материалов зависит не только от теплопроводности их компонент, но и от состояния границ, сопряжения кристаллических решеток, наличия зернограничных фаз [1].

## 1. 1. Обзор литературы

### 1.1. Алмаз. Структура. Природный и синтетический алмаз.

Слово «алмаз» происходит от греческого слова  $\alpha\delta\acute{\alpha}\mu\alpha\varsigma$  – «несокрушимый» (или от арабского al-mas – «твердейший»). Несмотря на редкость минерала алмаза, он был известен древним грекам еще за 5 веков до нашей эры, в первую очередь, благодаря своей высокой твердости. [1]

В XIX веке было обнаружено, что алмаз является одной из форм существования элементарного углерода. [2] В начале XX века благодаря опытам У. Г. и У. Л. Брэггов стала известна природа алмаза: Брэгги расшифровали атомную структуру алмаза, используя рентгеновские лучи. Выяснилось, что алмаз имеет элементарную кубическую гранцентрированную решетку, внутри которой расположены еще четыре атома в центрах четырех из восьми кубов, образованных делением элементарной ячейки тремя взаимно перпендикулярными плоскостями. Структура алмаза представлена на рисунке 1.1. [3]

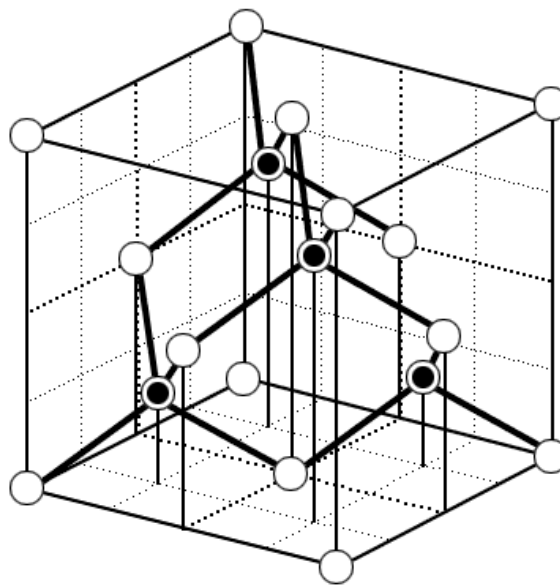


Рисунок 1.1 – Структура алмаза [3]

Длина стороны элементарной ячейки – 0,3567 нм, кратчайшее расстояние между атомами углерода в структуре – 0,154 нм.

Алмазы могут быть как природными, так и синтетическими (искусственными).

Природные алмазы – индивидуальны. В них неизбежно наличие примесей, прежде всего, азота, который присутствует не только в атомарном состоянии, но и в виде различных комплексов и включений. [2] В связи с этим остро встает вопрос о необходимости тщательной сортировки природных кристаллов алмаза перед тем, как проводить их дальнейшую механическую обработку.

Существует два типа месторождений алмаза: коренные (магматические, первичные) и россыпные (осадочные, вторичные). [1] Число магматических месторождений значительно преобладает над числом осадочных. Магматические алмазоносные породы называют кимберлитами – в честь города Кимберли в Южной Африке, где эти породы были впервые обнаружены. Аналогичные месторождения также впоследствии были обнаружены и в других странах Африки, Индии и США. В середине XX века были открыты первые алмазоносные кимберлитовые трубки в Якутии, схематичный разрез которых представлен на рисунке 1.2.

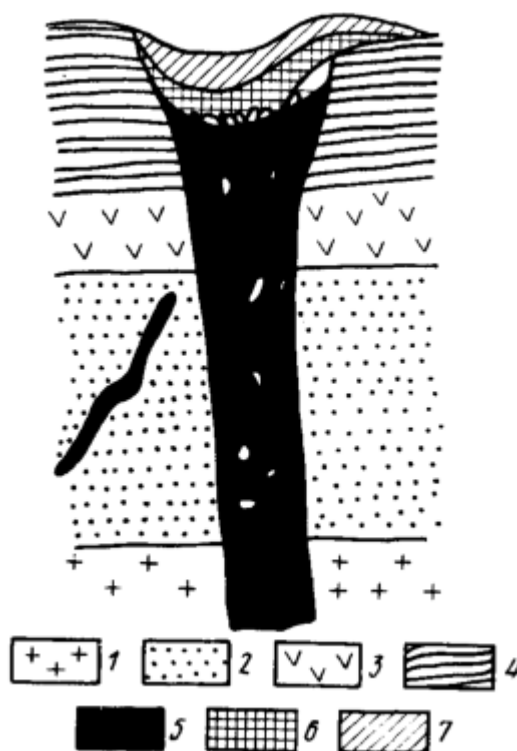


Рисунок 1.2 – Схематичный разрез кимберлитовой трубки [1]:

1 – оливин; 2 – кварцит; 3 – диабаз; 4 – черный сланец; 5 – кимберлит; 6 – «синяя земля»; 7 – «желтая земля».

Процесс добычи природных алмазов включает извлечение огромного количества кимберлитовой породы на поверхность и ее обогащение – отделение алмазов от пустой породы. Эти процессы крайне трудоемки ввиду низкого содержания алмазов в кимберлите. Например, в южноафриканских кимберлитах содержание алмаза не превышает  $9 \cdot 10^{-5}$  % от всей массы породы.

Синтетические алмазы имеют структуру аналогичную природным, близкие химические и физико-механические свойства [4]. При этом синтетические алмазы значительно дешевле ввиду высокой стоимости добычи природных алмазов. Кроме того, свойства искусственно полученных алмазов можно регулировать, изменяя параметры технологического процесса при их изготовлении. В связи с этим синтетические алмазы получили широкое применение в технике: более 90% алмазов, используемых в промышленности – синтетические.

Существует несколько способов получения синтетических алмазов. Один из них – осаждение поликристаллических пленок алмаза из газовой фазы (Chemical Vapor Deposition, CVD) [5]. В основе CVD-процесса лежит разложение углеводородов (как правило – метана) в смеси с водородом и последующее осаждение алмаза на нагретую кремниевую или молибденовую подложку. Диссоциация рабочей смеси происходит в вакуум-камере при помощи электрического разряда, сверхвысокочастотной плазмы или лазерного излучения. Углеводородные радикалы и атомарный водород, являющиеся продуктами диссоциации, диффундируют к нагретой до 700-1000 °С подложке, на которую и осаждается алмаз. Обычно на подложку заранее наносят наночастицы алмаза, которые выполняют роль центров нуклеации при зарождении кристаллов. Скорость осаждения обычно составляет 1–20 мкм/ч.

Другая группа методов получения синтетического алмаза основана на использовании высокого давления и температуры (High – Pressure High – Temperature, HPHT) и включает три возможных способа [6]:

1. В области термодинамической стабильности алмаза воздействием на исходный углеродсодержащий материал высоким статическим



давлением и температурой в течение времени, измеряемого, по крайней мере, несколькими секундами;

2. В области термодинамической стабильности алмаза воздействием на исходный углеродсодержащий материал высоким динамическим давлением и температурой в течение времени, измеряемого микросекундами и долями микросекунд;
3. В области термодинамической стабильности графита, осуществляемой при атмосферном и меньшем давлениях и высокой температуре эпитаксиальным наращиванием алмаза на затравках.

Для получения алмаза в этих методах используются углеродсодержащие материалы: стеклоуглерод, кокс, синтетические смолы, графит. Однако непосредственно при синтезе алмаза исходное сырье обязательно проходит стадию графитизации. Нецелесообразно использовать в качестве углеродсодержащего сырья сажу, так как она очень мелкодисперсна. Это затрудняет набивку камер аппарата высокого давления.

Синтез алмаза проводится в специальных камерах, изготовленных из высокопрочных материалов: сплавы на основе карбида вольфрама и кобальта. Подъем температуры в подобных аппаратах осуществляется пропусканием электрического тока через нагревательное устройство. Конструкции камер высокого давления (7 – 20 ГПа), где создаются температуры от 700 до 2700 °С весьма различны.

Один из возможных видов аппаратов – аппараты типа «цилиндр – поршень» [6], так называемые белт – аппараты, схема которых представлена на рисунке 1.3.

Основными частями являются два конических пуансона 1 из твердого сплава, на которые в несколько слоев надеты стальные бандажи. Их торцы входят в полый цилиндр из твердого сплава, также упрочненный набором

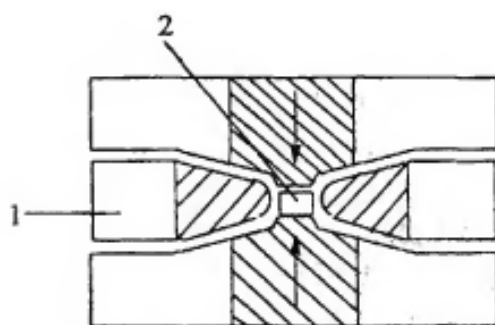


Рисунок 1.3 – Схема аппарата типа «белт» [6]:

1 – пуансон; 2 – контейнер.

бандажей. Внутри цилиндра помещается цилиндрический контейнер из рабочего вещества 2, в котором находится нагреватель с реакционной шихтой. Нагревателем является трубка из электропроводящего материала, ось нагревателя совпадает с осью контейнера. Вся установка помещается в гидравлический пресс. При сдвигании пуансонов рабочее вещество пластически деформируется, часть его затекает в зазоры между цилиндром и пуансоном и надежно запирает камеру сжатия. Благодаря образующимся прокладкам из рабочего вещества пуансоны оказываются электрически изолированными от цилиндра. Нагрев осуществляется пропусканием электрического тока через нагреватель, соприкасающийся с пуансонами, к которым присоединяются электроконтакты от источника тока. В установке типа «белт» возможно получать давления около 20 ГПа и температуры порядка 2700 °С и можно иметь большой реакционный объем.

## 1.2. Физические свойства алмаза

В литературе приводится множество данных о твердости алмаза, которые существенно различаются [7]. Это затрудняет использование значений твердости алмаза для сравнения с твердостью других материалов. Определяемая величина твердости алмаза зависит от условий испытаний: типа пирамиды индентора и величины приложенной к нему нагрузки; типа кристаллографической плоскости испытываемого алмаза и ориентации на ней пирамиды, совершенства внутреннего строения кристаллов.

Алмаз обладает анизотропией твердостью, вследствие чего при изменении плоскости испытаний или ориентации пирамиды индентора на испытываемой плоскости изменяется угол между направлением скольжения и внешней нагрузки. Именно этим объясняется полярная (в различных направлениях на одной и той же плоскости) и ретикулярная (на разных плоскостях) анизотропия твердости кристаллов алмаза.

Тем не менее, алмаз считается самым твердым природным веществом [1]. Его абсолютную твердость определяют по размерам отпечатка алмазного индентора при нагрузках 0,98 – 18,6 Н. Значения твердости различных материалов по шкале Мооса, а также при вдавливании пирамид Виккерса и Кнупа приведены в таблице 1.1. [7].

Таблица 1.1 – Твердость материалов по различным шкалам [7]

Материал	Твердость по Моосу	Твердость при индентировании пирамидами, ГПа	
		Виккерса	Кнупа
Тальк	1	0,02	-
Гипс	2	0,20	0,32
Кальцит	3	1,09	1,35
Флюорит	4	1,89	1,63
Апатит	5	5,36	3,60
Альбит	6	7,05	4,90
Кварц кристаллический	7	11,20	7,10
Топаз	8	-	12,50
Корунд	9	-	16,35
Алмаз	10	100	85

Практическое значение имеет зависимость твердости от температуры. При ее повышении с 25 до 1000К твердость алмаза уменьшается в 2 - 2,5 раза [1]. На графике зависимости твердости алмаза от температуры,

представленном на рисунке 1.4 [7], можно выделить два участка: при низких температурах характер зависимости описывается уравнением степенной функции, при высоких – экспоненциальной. Граница участков приходится на температуру 1073 К, при которой отмечается заметный рост пластичности алмаза (вокруг отпечатков наблюдаются следы скольжения).

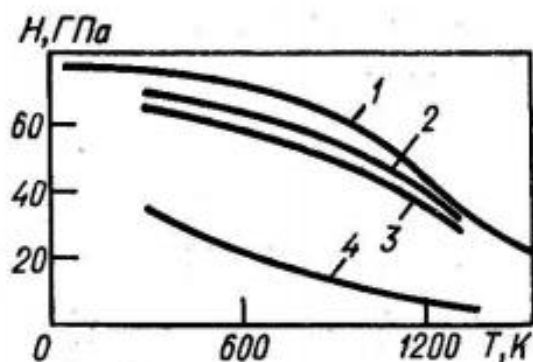


Рисунок 1.4 – Твердость кристаллов при различных температурах [7]:

1 – природный алмаз; 2 – синтетический алмаз октаэдрического габитуса; 3 – синтетический алмаз кубического габитуса; 4 – нитрид бора

Обладая высокой твердостью, алмаз в то же время хрупок. Последнее объясняется наличием у него спайности, т. е. способности раскалываться по определенным плоскостям. Перпендикулярно к этим плоскостям расстояние между атомами углерода в решетке наибольшее. Такие плоскости, "насыщенные" атомами, называются плоскими сетками. На рисунке 1.5 схематично изображены основные плоские сетки в структуре алмаза (сетка куба, октаэдра, додекаэдра) [8].

Хрупкость материалов оценивается по значению критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1C}$  [7], который характеризует критическое значение напряжения у вершины трещины, при котором происходит распространение трещины. Поскольку алмаз обладает ярко выраженной спайностью, длина трещины при прочих равных условиях зависит от кристаллографической плоскости, по которой она

распространяется. Значения  $K_{IC}$  с учетом этих условий приведены в таблице 1.2.

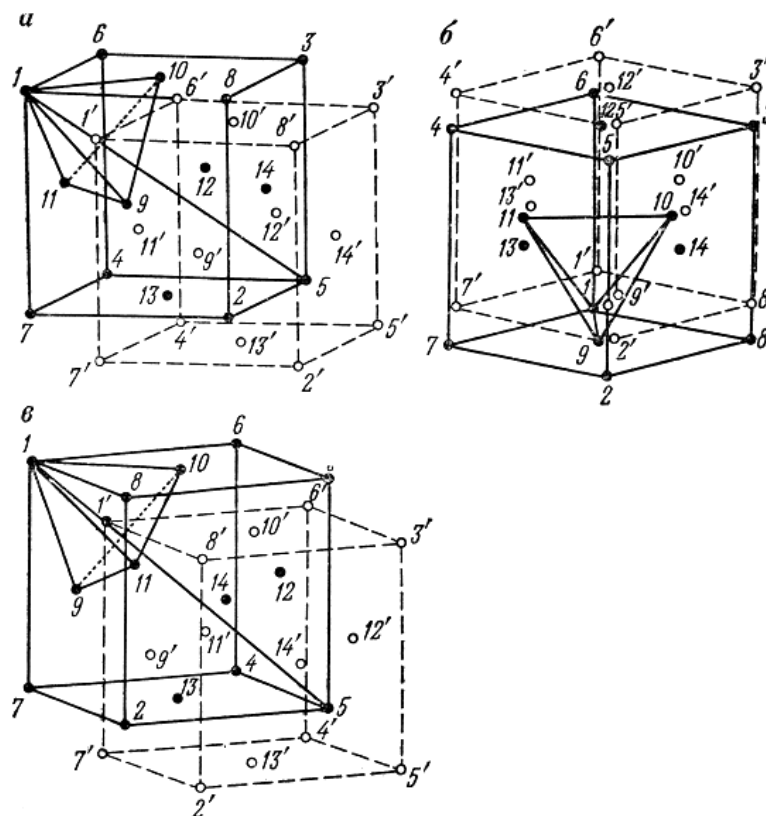


Рисунок 1.5 – Структура алмаза в зависимости от морфологии кристалла [8]:

а – куб; б – октаэдр; д – додекаэдр.

Таблица 1.2 – Значение  $K_{IC}$  алмаза при индентировании [7]

Материал	Испытуемая плоскость	Направление распространения трещины	Плоскости, по которым развиваются трещины	$K_{IC}$ , $MH/m^{3/2}$
Природный алмаз	(001)	$\langle 110 \rangle$	$\{110\}$	10,3
	(110)	$\langle 112 \rangle$	$\{111\}$	8,8
	(111)	$\langle 110 \rangle$	$\{111\}$	8,3
Синтетический алмаз	(100)	$\langle 100 \rangle$	$\{100\}$	27,0 - 40,0
	(100)	$\langle 110 \rangle$	$\{110\}$	9,9
	(111)	$\langle 110 \rangle$	$\{111\}$	8,5



Помимо твердости ценным свойством алмаза является жесткость (высокий модуль упругости), т. е. малая способность к деформации в процессе воздействия на него нагрузки. Алмаз обладает наибольшим модулем упругости по сравнению со всеми известными в природе материалами [8]. Модуль упругости алмаза равен 883 ГПа [9].

Плотность алмазов колеблется от 3,47 до 3,56 г/см<sup>3</sup> и зависит прежде всего от структуры камня, характера включений и их количества. Средняя плотность алмазов 3,52 г/см<sup>3</sup> [1].

В таблице 1.3 представлена сравнительная характеристика физико-механических свойств алмаза и других твердых материалов [8].

Таблица 1.3 – Физико-механические свойства алмазов и других твердых материалов [8]

Материал	Микротвердость, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Пределы прочности, МПа		
			при растяжении	при сжатии	при изгибе
Природный алмаз	101	825	79000	20	2 - 5
Синтетический алмаз	101	900	-	20	-
Карбид кремния	30	-	40	20	1
Карбид титана	29	320	40 – 60	-	12
Карбид бора	40	300	30	18	-
Карбид вольфрама	11	430	-	-	20
Быстрорежущая сталь P18	13	2160	-	35	36

### 1.3. Химические свойства алмаза

По своим химическим свойствам алмаз обладает исключительной химической стойкостью [10].

Известно, что химическая стойкость синтетических алмазов к воздействию минеральных кислот и жидкофазных окислителей снижается с уменьшением размеров алмазного зерна [11]. Поэтому, если расположить в ряд алмазы по возрастанию реакционной способности, то наименее реакционноспособными являются природные алмазы, а наиболее - ультрадисперсные алмазы из продуктов детонации взрывчатых веществ. Промежуточное положение между ними занимают алмазы статического и динамического синтеза.

Необходимо отметить также, что в абсолютном большинстве работ в этой области алмаз считается инертным по отношению к минеральным кислотам и щелочам [11]. Растворимость алмаза во всех кислотах, даже концентрированных, практически равна нулю. Даже фтористоводородная кислота и царская водка не действуют на алмаз. Поэтому, образовавшись при высоких давлениях и температурах в глубинах Земли, алмаз практически не подвергается химическим превращениям в условиях земной поверхности и сохраняется без изменения в течение многих сотен миллионов лет [8].

Однако это не применимо к микропорошкам алмаза и еще в 1936 году В.С.Веселовский указал, что соединения шестивалентного хрома в среде серной кислоты окисляют мелкодисперсные природные алмазы [12], а Ф.С. Финнеем показано, что микропорошок синтетического алмаза растворяется при взаимодействии с 72%-ной хлорной кислотой [13].

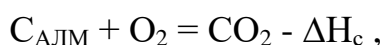
Вместе с тем алмаз может быть легко разрушен (окисляется и сгорает) в смеси соды с расплавленной натриевой или калиевой селитрой [8]. Расплавленные карбонаты щелочей при 1000-1200 °С также превращают алмаз в окись углерода. Установлено, что сера слабо реагирует с алмазом при нагревании выше 600 °С. При нагревании до 800 °С в присутствии железа или

сплавов на его основе алмаз растворяется. Именно поэтому алмазные резцы не получили применения при обработке стали и чугуна.

Алмаз с чистой поверхностью не смачивается водой (гидрофобен), но обладает способностью прилипать к некоторым жировым смесям. Гидрофобностью алмаза объясняются его проникновение ниже слоев смоченных водой гравийно-песчаных отложений и осаждение в природных и искусственных условиях вместе с минералами, имеющими значительно большую, чем у алмаза, плотность (например, гранаты, ильмениты и др.).

Основным химическим свойством, характерным для алмаза, является его окисление. Углерод, составляющий кристаллическую решетку как алмаза, так и графита, легко вступает в реакцию с кислородом, которая сопровождается выделением тепла. Эта реакция относится к типу экзотермических и при избытке кислорода и высоких температурах превращается в реакцию горения [1].

Сгорание алмаза идет по реакции:



где  $\Delta H_c = - 94505 \pm 22,9 = 395110 \pm 116,4$  Дж/моль.

Впервые энергию активации реакции окисления алмазного порошка в потоке кислорода при атмосферном давлении и температуре 440 - 560 °С, равную 183,9 кДж/моль, получил Х. Ламберт [1]. Он считал, что реакция будет иметь первый порядок по кислороду. Наблюдаемый порядок реакции оказался меньше первого, что автор объяснил тормозящим действием слоя оксидов, возникающего на поверхности алмаза. Предложенный механизм взаимодействия алмаза с кислородом заключается в образовании диоксида углерода при прямом ударе молекулы кислорода о поверхность кристалла.

Однако многочисленные исследования позднее показали, что взаимодействие алмаза с кислородом следует рассматривать как процесс, состоящий из трех реакций [1]:

1. непосредственного окисления алмаза кислородом с образованием газообразных СО и СО<sub>2</sub>. Протекание этой реакции доподлинно

неизвестно, но тот факт, что она может протекать, нельзя игнорировать.

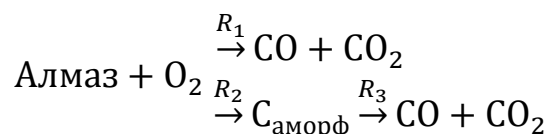
Обозначим скорость этой реакции  $R_1$ ;

2. образования слоя аморфного углерода на поверхности алмаза. Так как присутствие кислорода является необходимым условием образования такого слоя, реакция должна повлечь за собой образование хемосорбционного кислорода и последующую перегруппировку поверхностных комплексов, в результате чего атомы углерода перейдут из алмазной кристаллической решетки в пленку аморфного углерода.

Обозначим скорость образования углерода в этой реакции  $R_2$ ;

3. окисления слоя аморфного углерода с образованием CO и CO<sub>2</sub>. Скорость этой реакции обозначим  $R_3$ .

Эти три реакции, происходящие на поверхности алмаза, можно кратко записать в следующем виде:



Относительные значения  $R_2$  и  $R_3$  будут влиять на толщину слоя аморфного углерода. При  $R_2 < R_3$  окисление лимитируется скоростью разрушения решетки алмаза. Практически это происходит при давлениях кислорода больше 66,5 Па и температуре больше 500 °С. При давлении кислорода больше 199,5 Па на поверхности алмаза в интервале 800-900 °С реакции графитизации не происходит, алмаз при этом, вероятно, окисляется до CO и CO<sub>2</sub>.

Скорость окисления алмаза зависит от количества примесей [1]. Доказано [14], что окисление ускоряется в присутствии большего количества примесей железа, титана, кремния и алюминия.

В таблице 1.4 представлены данные об окислении природных (А) и синтетических (АС) алмазов различных марок [1]. Данные отражают степень окисления при прокаливании на воздухе в течение часа при температурах 500,

600, 700, 800 и 900 °С, а также при окислении в воздушной среде при 900 °С без предварительного нагрева.

Таблица 1.4 – Окисление природных и синтетических алмазов [1]

Марка алмаза	Степень окисления, % при температуре, °С					
	500	600	700	800	900	900 (без термообработки)
A10	0,01	5,3	30,6	1,5	20,2	57,2
A25	0,02	12,1	7,7	1,6	19,8	59,6
A32	0,03	10,5	13,4	5,1	42,0	68,1
A40	0,01	1,6	3,3	18,9	6,9	36,5
A36	0,03	1,9	15,8	35,8	9,4	62,2
A160	0,06	0,8	4,2	5,1	25,1	48,3
AC4-20	-	-	-	-	-	52,1
AC6-32	-	-	-	-	-	49,7
AC2-25	-	-	-	-	-	47,8

Как видно из таблицы, какой-либо явной зависимости степени окисления алмазов от размеров зерен не наблюдается, разброс данных достаточно велик; существенное окисление начинается при температурах выше 500 °С и повышается по мере возрастания температуры. Предварительное прокаливание снижает степень окисления алмазов. Эти факты могут быть связаны с неравномерным распределением примесей в зерне алмаза и каталитическим влиянием примесей некоторых элементов. Окисляемость синтетических алмазов близка к окисляемости природных алмазов.

#### 1.4. Теплофизические свойства алмаза

Среди всех известных материалов алмазы обладают самой высокой теплопроводностью, которая в 2 – 5 раз превышает теплопроводность меди и серебра – лучших металлических проводников тепла – при температуре 300 К.



Данные о теплопроводности природных алмазов разных типов в соответствии с принятой в настоящее время физической классификацией алмазов при температурах 320 и 450 К представлены в таблице 1.5 [7].

Таблица 1.5 – Теплопроводность природных алмазов [7]

Тип алмаза	Теплопроводность, Вт/м·К при температуре, К	
	320	450
Ia	1317	983
Ib	1750	1210
IIa	1903	1243
IIb	1948	1242

Как видно из таблицы, алмазы типов Ia и Ib, отличающиеся повышенным содержанием примесей, в первую очередь азота, имеют меньшую теплопроводность в сравнении с алмазами типов IIa и IIb, относящихся к беспримесным. Также видно, что с увеличением температуры теплопроводность природных алмазов всех типов уменьшается.

Большинство синтетических алмазов содержит азот в виде атомарной примеси замещения, что сказывается на их теплопроводности. Зависимость теплопроводности технических синтетических алмазов от температуры в сравнении с природными алмазами типа IIa приведена на рисунке 1.6 [7].

В области температуры 300К теплопроводность технических синтетических алмазов почти вдвое ниже, чем алмазов типа IIa. Однако с ростом температуры за счет быстрого спада теплопроводности природных алмазов эта разница уменьшается так, что при температуре больше 600 К она находится почти в пределах погрешности измерения.

Снижение теплопроводности синтетических алмазов почти вдвое по сравнению с природными алмазами типа IIa может быть вызвано металлическими примесями, входящими в кристаллическую решетку при

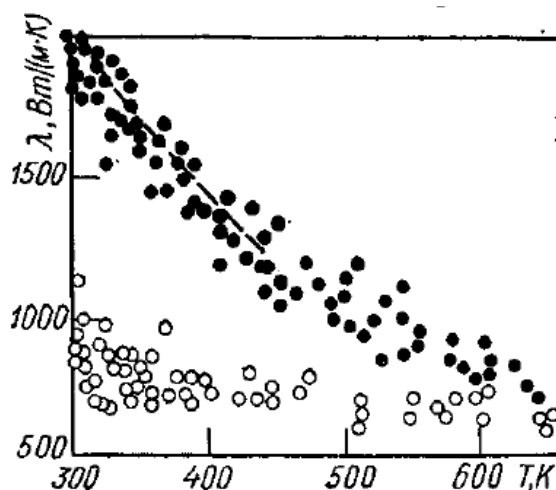


Рисунок 1.6 – Высокотемпературная теплопроводность природных алмазов типа Па и синтетических алмазов [7]:

● – природный алмаз типа Па; ○ – синтетический алмаз.

синтезе в виде дефектных центров с устойчивой связью атомов металла с атомами углерода и азота, или их комбинацией с вакансией.

Алмазы обладают весьма низким коэффициентом теплового расширения  $\alpha$ . При комнатной температуре  $\alpha = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  [7]. При увеличении температуры КТР алмаза растет. Зависимость КТР от температуры представлена на рисунке 1.7 [7].

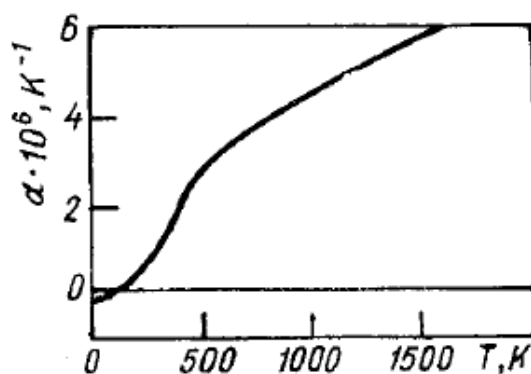


Рисунок 1.7 – Зависимость КТР алмаза от температуры [7]

Данная зависимость показывает, что при температурах меньше 500 К КТР увеличивается быстрее, чем при температурах, превышающих 500 К.

### 1.5. Электрофизические свойства алмаза

Кристаллы алмаза в основном являются хорошими диэлектриками. Проводимость кристалла алмаза в значительной степени зависит от

содержания в нем примесей и дефектов структуры. Примеси и дефекты создают в запрещенной зоне целый спектр локальных энергетических состояний.

При температуре 300К удельное сопротивление большинства кристаллов природного алмаза составляет  $10^{10}$ - $10^{14}$  Ом·см. Электросопротивление алмазов типов Ia, Pa находится в интервале  $10^{10}$ - $10^{16}$  Ом·см, полупроводниковых природных алмазов, относящихся к типу Pb –  $10$ - $10^8$  Ом·см [7].

При облучении отдельных кристаллов алмаза ультрафиолетовыми или другими лучами они начинают заметно проводить электричество - явление, известное под названием фотопроводимости [1].

Диэлектрическая проницаемость кристаллов алмаза составляет 16 – 16,5 [1]. Диэлектрическая проницаемость порошков природного и синтетического алмаза заметно меньше – 5,7 [7].

При этом тангенс угла диэлектрических потерь для синтетических алмазов на 2 – 3 порядка выше, чем для природных алмазов [7]. Это может быть связано с наличием в синтетических алмазах ферромагнитных включений и примесей, которых нет в природных алмазах.

### **1.6. Область применения алмаза**

До середины XX века алмаз использовался исключительно как драгоценный материал, но с развитием науки и техники были обнаружены такие уникальные свойства алмазов, как максимальная среди всех известных материалов твердость, высокая теплопроводность, прозрачность, возможность быть как диэлектриком, так и полупроводником, исключительная химическая устойчивость к действию агрессивных сред.

Все эти другие свойства способствовали тому, что алмаз в настоящее время имеет обширную область применения.

### 1.6.1. Абразивные материалы

Высокая твердость алмаза позволяет использовать микропорошки на их основе для производства алмазно-абразивного инструмента.

Абразивный инструмент – это инструмент или набор инструментов, определяющим признаком которого является наличие абразивного материала, производящего механическую обработку изделия. Абразивный инструмент состоит из зерен абразивных материалов, скрепленных каким-либо связующим веществом [15].

Алмазные микропорошки широко используются в качестве абразивного материала. Микропорошки из синтетических алмазов выпускаются двух марок: АСМ и АСН. АСМ обладает нормальной абразивной способностью. Они рекомендуются для изготовления инструментов, паст и суспензий, применяемых для обработки твердых сплавов, закаленных сталей, стекла и других твердых материалов. АСН обладает повышенной абразивной способностью: они рекомендуются для изготовления инструментов, паст и суспензий, применяемых при обработке природных и синтетических алмазов, корунда, специальной керамики и других труднообрабатываемых материалов [16].

Зернистость микропорошков должна соответствовать данным, указанным в таблице 1.6 [17].

Таблица 1.6 – Зернистость алмазных микропорошков [17]

Зернистость	Размер зерен основной фракции, мкм
60/40	60 – 40
40/28	40 – 28
28/20	28 – 20
20/14	20 – 14
14/10	14 – 10
10/7	10 – 7
7/5	7 – 5

Зернистость	Размер зерен основной фракции, мкм
5/3	5 – 3
3/2	3 – 2
2/1	2 – 1
1/0	≤1

Зерновой состав микропорошков должен соответствовать данным, указанным в таблице 1.7 [16].

Таблица 1.7 – Зерновой состав алмазных микропорошков [17]

Зернистость	Содержание фракций по количеству зерен		
	крупной, не более 5%	основной, не менее 65%	мелкой, не более 30%
	Размер зерна, мкм		
60/40	≤80	60 – 40	≥20
40/28	≤60	40 – 28	≥14
28/20	≤40	28 – 20	≥10
20/14	≤28	20 – 14	≥7
14/10	≤20	14 – 10	≥5
10/7	≤14	10 – 7	≥3
7/5	≤10	7 – 5	≥2
5/3	≤7	5 – 3	≥1
3/2	≤5	3 – 2	≤2
2/1	≤3	2 – 1	≤1
1/0	≤2	≤1	-

В микропорошках допускается не более 2% пластичных и удлиненных компонентов, величина которых превышает наибольший размер зерна основной фракции не более, чем в полтора раза, общее количество крупных зерен не должно превышать 5%. Содержание примесей в микропорошках не должно превышать 2,5%, а содержание влаги – 0,2% [16].

В состав шлифовального круга кроме абразивного материала определенной зернистости входит также связка, упрочняющая элементы [15].

Связка — это связующее вещество и наполнители. Прочность и режим работы абразивного инструмента напрямую зависят от вида использованной связки. В производстве абразивного инструмента используют два вида связок: неорганические и органические.

Органические связки:

1. бакелитовая – жидкие и порошкообразные фенолформальдегидные смолы и неорганический наполнитель (пирит, алебастр);
2. вулканитовая – синтетический каучук и добавки (сера, каптакс, тиурам);
3. глифталева – продукт взаимодействия глицерина с фталевым ангидридом;
4. эпоксидная – эпоксидная смола;
5. поливинилформалева – вспененный поливинформаль;
6. полиэфирная – полиэфирная смола.

Неорганические связки характеризуются высокой огнеупорностью, водостойкостью, химической устойчивостью и относительно высокой стойкостью. В зависимости от поведения в процессе термообработки они классифицируются на плавящиеся (стекловидные) и спекающиеся (фарфоровидные). Общее название – керамические. Кроме того, существуют неорганические связки, затвердевающие без термической обработки – магнезиальные. Плавящиеся связки после остывания превращаются в стекло, спекающиеся расплавляются только частично и по своему составу и состоянию близки к фарфору.

Неорганические связки представляют собой смеси измельченных сырых материалов: огнеупорной глины, плавней, талька и ряда других материалов. Их недостаток – высокая хрупкость, что несколько ограничивает применение кругов на керамических связках.

Изготавливают шлифовальные круги путем прессования массы, состоящей из абразивного зерна и связки, с последующей термической и механической обработкой полученных заготовок [15].

Кроме производства шлифовальных кругов синтетические алмазы могут использоваться в виде абразивных паст. Они применяются для окончательных доводочных и притирочных операций при изготовлении оснастки, инструмента и деталей, к которым предъявляются высокие требования в отношении чистоты поверхности и точности обработки. Наилучшие результаты они дают при обработке наиболее твердых и хрупких материалов (твердые сплавы, закаленные стали, природный алмаз, корунд) [16].

Пасты состоят из порошка алмаза, связующих и поверхностно-активных веществ (основы). В качестве основы используются вещества, смываемые дистиллированной водой или органическими растворителями.

Зернистость пасты соответствует зернистости алмазного порошка, указанной в таблице 6. Применение паст зернистости больше 60/40 нерационально, так как не влечет за собой повышение производительности обработки.

Пасты, смываемые органическим растворителем (керосином, бензином, спиртом) рекомендуются для обработки металлов. Водорастворимые пасты применяются для обработки неметаллических хрупких материалов и для обработки металлов в тех случаях, когда недопустимо применение огнеопасных жидкостей при промывке обработанных изделий [16].

### **1.6.2. Микроэлектроника**

Применение алмаза в микроэлектронике связано с его электрофизическими и теплофизическими свойствами.

Традиционный материал тепловода в электронных модулях – керамика на основе оксида бериллия, характеризуется малыми диэлектрическими потерями в СВЧ-диапазоне частот и высокой теплопроводностью. Вместе с тем, производство ВеО-керамики чрезвычайно

токсично, в связи с чем стоит вопрос о поиске материалов с требуемыми диэлектрическими свойствами и теплопроводностью, альтернативных BeO-керамике [18].

В качестве такого материала может выступать алмаз [2,18,19,20,21]. В таблице 1.8 представлены основные свойства диэлектрических материалов теплоотвода корпусов транзисторов.

Таблица 1.8 – Свойства диэлектрических материалов теплоотвода в микроэлектронике [18]

Свойство материала	Материал		
	BeO - керамика	AlN - керамика	Алмаз
Диэлектрическая проницаемость	6,6	7,5 – 8,0	5,7
Тангенс угла диэлектрических потерь	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$
Теплопроводность при 300К, Вт/м·К	215	180	1990-2200
Коэффициент теплового расширения, $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (при температуре, °C)	5,5 (25 – 100)	2,65 (20 – 100)	1,0 (27)
	8,0 (25 – 300)	3,80 (25 – 300)	4,4 (727)
	9,6 (25 – 600)	4,19 (20 – 400)	
	10,8 (25 – 800)	4, 47 (20 – 500)	

У алмаза наибольшая среди всех известных материалов теплопроводность. Это связано с его рекордно высокой температурой Дебая  $T_D=1860 \text{ K}$ , благодаря чему комнатная температура является "низкой" в отношении динамики решетки алмаза. В результате алмаз может служить "идеальной" теплоотводящей диэлектрической подложкой. Более того, в очищенном от изотопов алмазе (природные кристаллы содержат 1,1% изотопа  $^{13}\text{C}$ ) теплопроводность может достигать 3300 Вт/м·К [5].

В [19] показано, что использование алмаза в качестве теплоотвода теоретически позволяет уменьшить тепловое сопротивление  $R_t$  в 5 раз. На



практике за счет использования теплоотвода из природного алмаза удалось снизить  $R_t$  в 1,2 – 1,8 раза, из синтетического – в 1,2 – 1,3 раза по сравнению с медным теплоотводом. Преимущество алмазного теплоотвода перед медным также продемонстрировано на рисунке 1.8 [20].

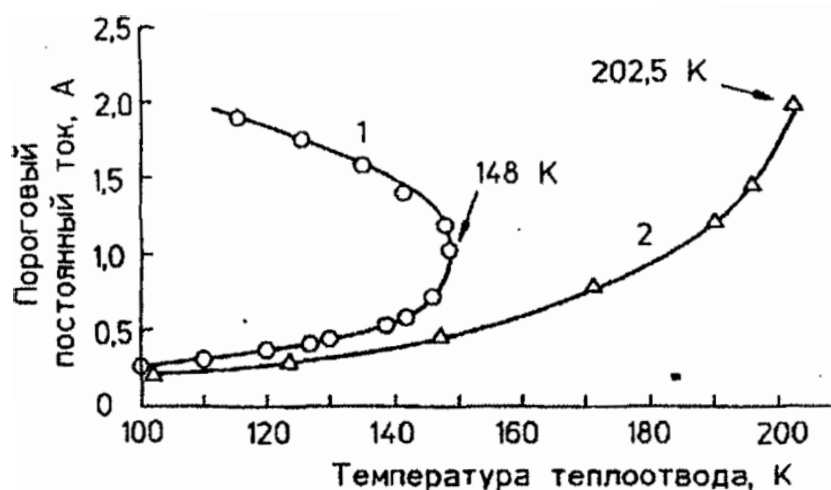


Рисунок 1.8 – Пороговый постоянный ток лазерного диода в зависимости от температуры теплоотвода [20]:

1 – медный теплоотвод; 2 – теплоотвод из природного алмаза типа Па; стрелкой показана точка термического пробоя диода.

Однако сырьевая база природных алмазов ограничена, они имеют высокую стоимость, применение их в электронике сдерживается малыми размерами кристаллов и трудностью их обработки из-за уникальной (высокой) твердости [19]. Кроме того природные кристаллы алмаза содержат неконтролируемые дефекты и примеси, что приводит к огромному разбросу их параметров [5].

Размеры синтетических кристаллов, получаемых при высоких давлениях и температурах (НРНТ) также малы. В них велика неконтролируемая концентрация примеси азота –  $10^{17}–10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Кроме того, в таких алмазах присутствуют и примеси катализаторов [5].

Поэтому использование в качестве теплоотвода в микроэлектронике полиалмаза, полученного в результате CVD-процесса, является наиболее рациональным и эффективным. Этим методом на автоматизированных

установках получают пластины алмаза диаметром до 300 мм. При этом толщина пластины задается продолжительностью процесса эпитаксиального роста, что упрощает задачу получения теплоотводов требуемых геометрических размеров [19].

Алмазные теплоотводы находят применение для транзисторов большой мощности, диодов Ганна, интегральных схем повышенной мощности, полупроводниковых лазеров, лавинно-пролетных диодов, варикапов и переключающих полупроводниковых приборов [21].

### **1.7. Проблематика и обоснование проведения работы**

В настоящее время керамические материалы играют важную роль в развитии такой передовой отрасли, как электроника и электротехника. Керамические элементы широко применяются в электронной промышленности, например, для теплонагруженных частей полупроводниковых приборов, мощных светодиодов; как изоляторы различного применения для электротехники и энергетики.

В силовых модулях, как паяных с изолированным основанием, так и в модулях прижимной конструкции, чипы припаиваются на подложку, играющую роль электроизолирующего и теплопроводящего слоя между полупроводниковыми кристаллами и основанием. С увеличением мощности повышается выделение тепла, которое приводит к повышению температуры, ухудшению характеристик работы полупроводниковых кристаллов и элемента силовой электротехники в целом, снижает его надежность и срок работы.

Традиционный материал теплоотвода – керамика на основе оксида бериллия, характеризуется малыми диэлектрическими потерями в СВЧ-диапазоне частот и высокой теплопроводностью. Вместе с тем, производство BeO-керамики чрезвычайно токсично, в связи с чем стоит вопрос о поиске материалов с требуемыми диэлектрическими свойствами и теплопроводностью, альтернативных BeO-кермике.

В качестве такого материала может быть использована керамика на основе нитрида алюминия. Нитрид алюминия обладает хорошими диэлектрическими свойствами, снижает значение переходных тепловых сопротивлений. Он экологически безопасен, его коэффициент теплового расширения (КТР) ближе к коэффициенту теплового расширения полупроводниковых кристаллов, применяемых в силовой электронике, чем у керамики из  $Al_2O_3$  и  $BeO$ , что приводит к увеличению надежности, обеспечению безотказности и увеличению срока службы электронных узлов и блоков при работе в условиях термоциклирования. При этом, как стало известно в результате проведенного литературного обзора, для улучшения эксплуатационных свойств такого керамического материала может использоваться алмаз, который способен повысить теплопроводность и диэлектрические свойства керамики.

## **2. Методы исследования и материалы**

### **2.1. Цели и задачи работы**

Цель работы – разработка состава высокотеплопроводного керамического материала на основе нитрида алюминия с добавлением синтетического алмаза.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Проведение литературного обзора с целью изучения свойств алмаза и его применения в качестве материала-теплоотвода;
2. Анализ исходных порошков нитрида алюминия и алмаза;
3. Исследование возможных химических и полиморфных превращений в системе  $C_{\text{алм}}-AlN$ ;
4. Анализ полученных результатов и оценка дальнейших перспектив развития работы.

### **2.2. Методы исследования**

#### **2.2.1. Рентгенофазовый анализ**

В основе рентгенофазового анализа лежит физическое явление – дифракция (рассеяние) рентгеновских лучей на кристаллической решетке при определенных углах падения и длинах волн. Суть метода заключается в изучении дифракционной картины, которая получается при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов. Для количественной оценки используется уравнение Вульфа — Брэгга:

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

где  $d$  – межплоскостное расстояние, нм;  $\theta$  – угол падения луча на плоскость, град.;  $n$  – порядок дифракции (целое число);  $\lambda$  – длина волны монохроматического излучения, нм.

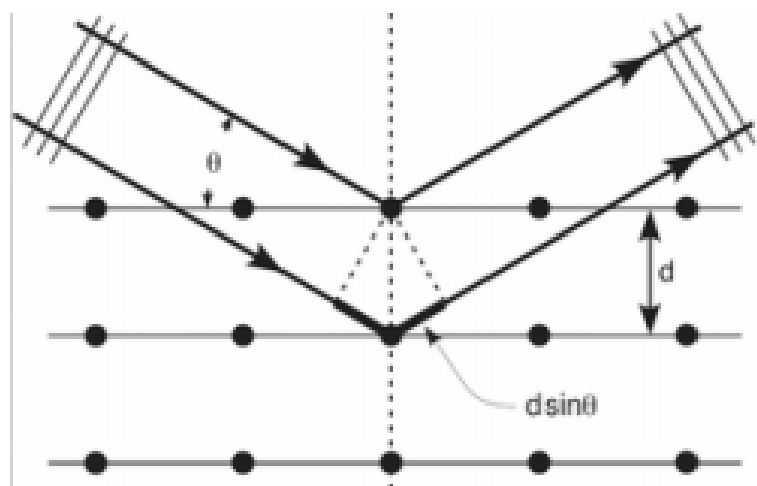


Рисунок 2.1 – Схема падения и отражения рентгеновского луча [28]

Для определения фазового состава исследуемого материала рассчитывают величину межплоскостного расстояния  $d$  и относительную интенсивность рефлекса на рентгенограмме, величина длины волны  $\lambda$  является заданной и имеет постоянное значение.

При сравнении табличных значений рентгеновских характеристик чистых кристаллических фаз и полученного набора основных рефлексов исследуемого образца определяется вещественный состав сырьевых материалов или фазовый состав готового керамического материала.

Для исследования исходных материалов, а также продукта синтеза использовался рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000S. Угловой диапазон сканирования по  $2\theta$  -12 град +164 град. Минимальный угловой шаг 0,0002 град. Скорость сканирования 0,04 град/мин. Для идентификации фаз применяли базу данных ICDD PDF-2 2013 г.

### 2.2.2. Растровая электронная микроскопия

Электронная микроскопия дает возможность изучить форму и размер отдельных кристаллов, частиц, зерен, а также оценить пористость структуры материала.

Суть метода заключается в том, что поверхность образца облучается сфокусированным пучком электронов (электронным зондом), совершающим возвратно-поступательное движение по линии или развертывающимся в растр

- совокупность близко расположенных параллельных линий, вдоль которых пучок электронов обегает выбранный для исследования участок поверхности.

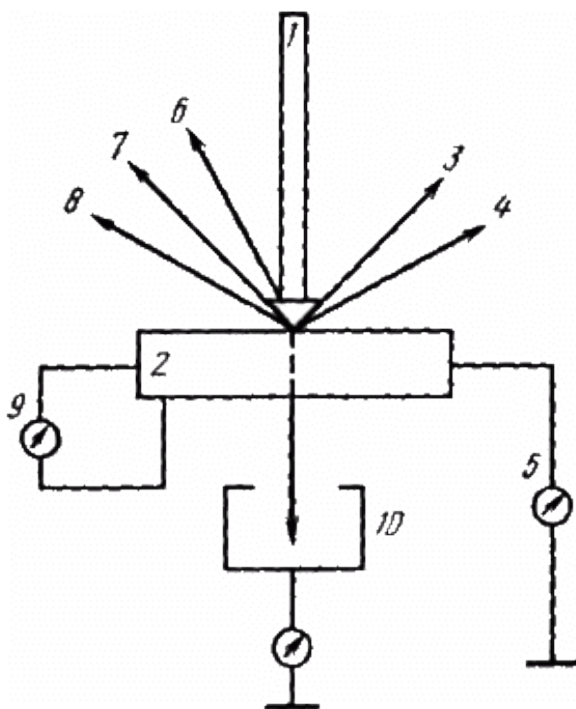


Рисунок 2.2 - Эффекты, возникающие при взаимодействии пучка электронов с веществом:

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

В каждой точке облучаемой поверхности происходит взаимодействие электронов пучка 1 с веществом, в результате чего возникает ряд эффектов: образуются отраженные электроны 3, вторичные электроны 4, рентгеновское 7 и другие излучения. Эти эффекты служат основой для получения разнообразной информации: о рельефе поверхности образца 2, химическом составе и кристаллографической ориентации объемов, прилегающих к поверхности.

В работе использовался растровый электронный микроскоп JEOL JSM 6000. Ускоряющее напряжение электронного пучка – 10-15 кВ. Увеличение –

до 9000 раз. Работа осуществлялась в высоком вакууме. Образцы подвергались напылению проводящих покрытий.

### 2.2.3. Определение насыпной плотности

Насыпная плотность – это масса сухого сыпучего материала в единице объема при его свободном засыпании. Насыпная плотность является одной из базовых характеристик для сыпучих веществ, так как в отличие от истинной учитывает не только объем частиц, но и пустоты между ними.

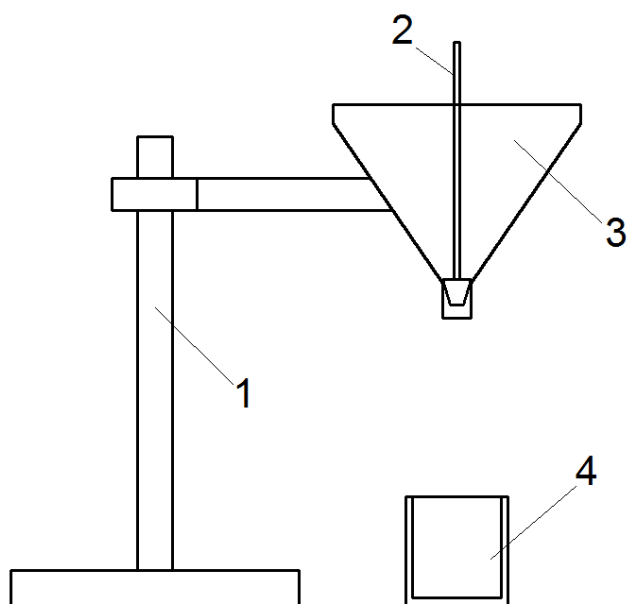


Рисунок 2.3 – Установка для определения насыпной плотности:

1 – штатив; 2 – заглушка; 3 – воронка; 4 – сосуд-приемник.

Перед началом определения взвешивают сухой сосуд-приемник 4, а также этот же сосуд, наполненный водой. По разности масс определяют массу залитой воды, а, соответственно, и объем сосуда. Далее сосуд размещают строго под отверстием воронки 3, предварительно закрытым заглушкой 2. В воронку засыпается исследуемый материал. После поднятия заглушки 2 материал свободно ссыпается в сосуд до образования конуса над его поверхностью. Этот конус срезается плоской линейкой, а сосуд с веществом взвешивают. Насыпная плотность определяется по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m_2 - m_1}{V},$$

где  $m_1$  – масса сухого сосуда, г;  $m_2$  – масса сосуда с порошком, г;  $V$  – объем сосуда, мл.

## 2.3. Применяемые материалы

### 2.3.1. Нитрид алюминия

В работе использовался промышленный порошок нитрида алюминия производства фирмы H. C. Stark, класс – grade B.

По данным рентгенофазового анализа, выполненном на дифрактометре Shimadzu XRD-7000S, порошок нитрида алюминия представлен единственной фазой – AlN (000-25-1133).

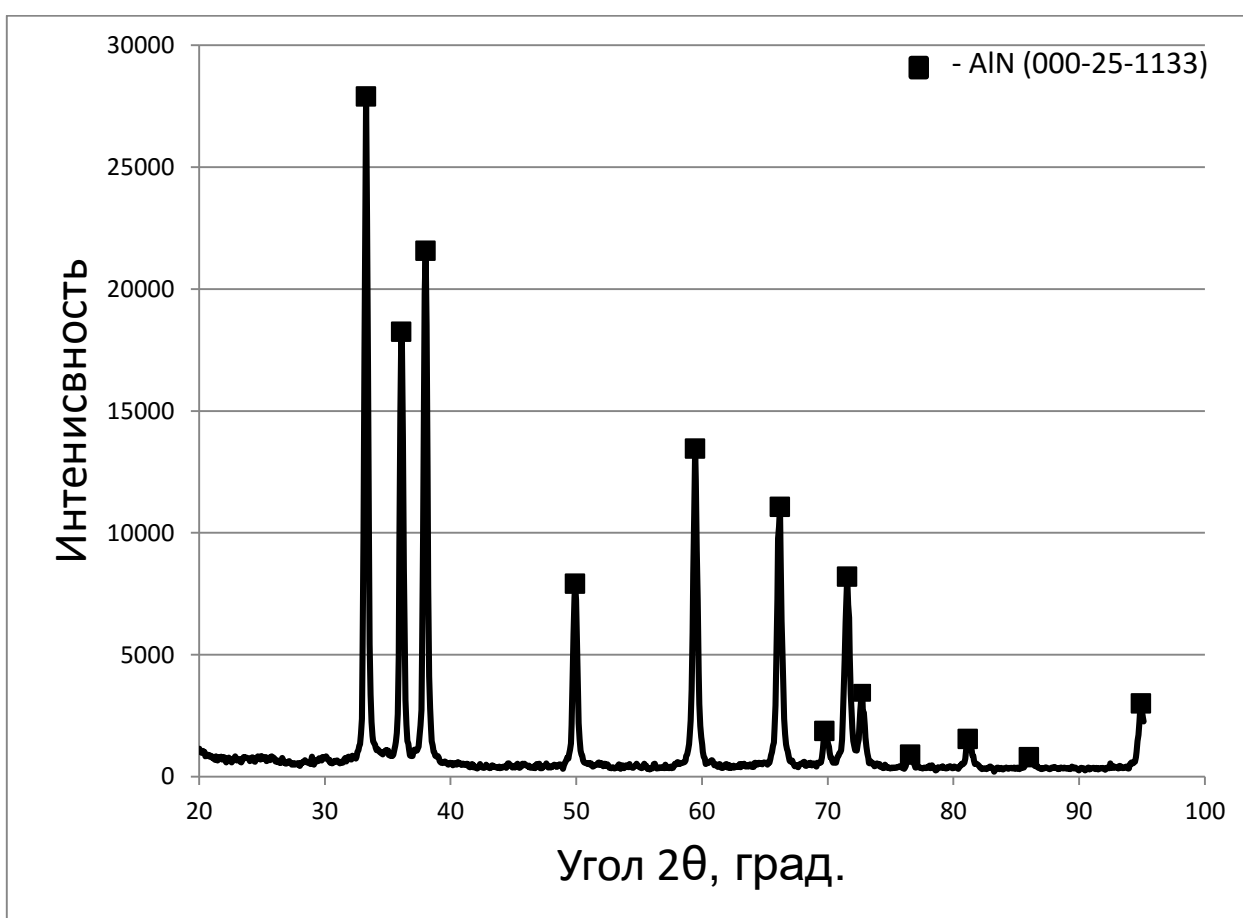


Рисунок 2.4 – Рентгенограмма нитрида алюминия (H. C. Stark grade B)

Согласно данным растровой электронной микроскопии, порошок нитрида алюминия представлен частицами неправильной обломочной формы размером от 1 до 5 мкм. Микрофотографии при разном увеличении, сделанные на растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6000, представлены на рисунке 2.5.



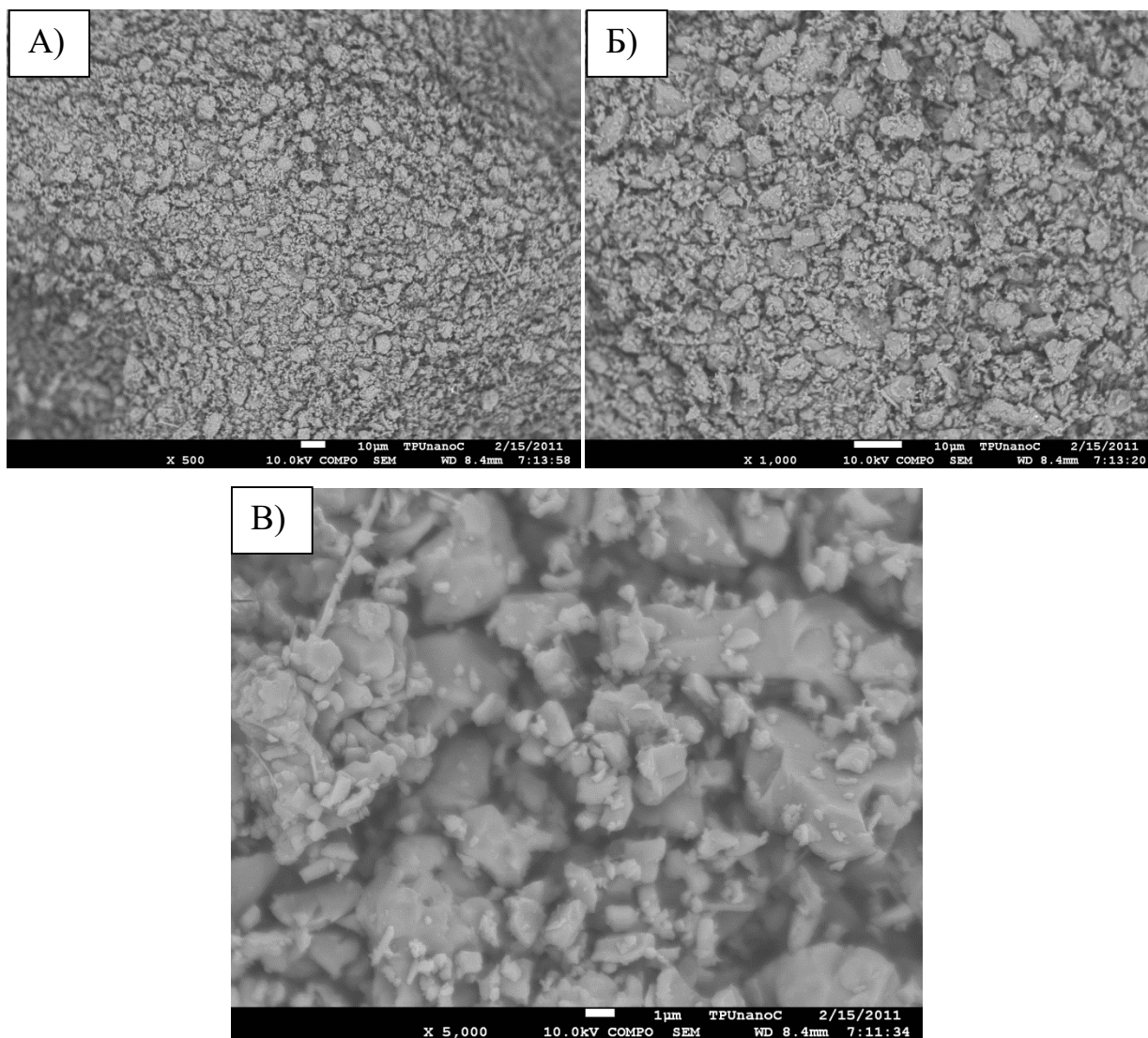


Рисунок 2.5 – Микрофотографии нитрида алюминия (Н. С. Stark grade B):

А –  $\times 500$ ; Б –  $\times 1000$ ; В –  $\times 5000$ .

Насыпная плотность используемого порошка нитрида алюминия (Н. С. Stark grade B) была определена при свободном засыпании материала в бюкс объемом 23 мл и составила  $0,71 \text{ г/см}^3$ . По данным БЭТ порошок нитрида алюминия производства Н. С. Stark имеет площадь удельной поверхности  $4,484 \text{ м}^2/\text{г}$ .

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г21	Абрамову Артёму Олеговичу

Институт	ИФВТ	Кафедра	ТСН
Уровень образования	Бакалавриат	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	Расчет стоимости исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Премиальный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

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


1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование структуры работ, их трудоемкость, разработка графика проведения исследования, расчет бюджета исследования: затраты на сырье, оборудование, заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности: определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности; сравнение эффективности разработки с аналогами

**Перечень графического материала:**

1. График проведения и бюджет НИ
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.03.2016г.
--	--------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская Марина Витальевна	К. Э. Н.		23.03.2016г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Абрамов Артём Олегович		

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

### **4.1. Планирование научно-исследовательских работ**

#### **4.1.1. Структура работ в рамках научного исследования**

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.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр,
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка технологии	Бакалавр
Изготовление и испытание опытного образца	11	Получение опытных образцов	Бакалавр, руководитель
	12	Лабораторные испытания опытных образцов	Бакалавр, руководитель
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Бакалавр

### 4.1.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Определение ожидаемой (средней) трудоемкости выполнения:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – наиболее вероятное время в течение, которого должна быть выполнена работа, чел-дни;  $t_{\text{мин}i}$  – минимальное время для выполнения данного этапа при благоприятном стечении обстоятельств, чел-дни;  $t_{\text{макс}i}$  – максимальное время для выполнения данного этапа при неблагоприятном стечении обстоятельств, чел-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости, рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{\text{р}i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{р}i}$  – продолжительность одной работы, раб. дней;  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел-дни;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{\text{к}i} = T_{\text{р}i} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

где  $T_{\text{к}i}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{\text{р}i}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

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.

В 2016 году 366 календарных дней, из них 105 выходных для и 14 праздничных дней. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,48$$

В таблице 4.2 представлены временные показатели проведения научно-исследовательской работы.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.		Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	
		t <sub>min</sub> , чел-дн.		t <sub>max</sub> , чел-дн.		t <sub>ож</sub> , чел-дн.			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2					
1	Составление технического задания	0,2	0,2	1	1	0,5	0,5	Р	0,26	0,26	0,4	0,4
		0,2	0,2	1	1	0,5	0,5					
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	2	2	1,1	1,1	Р	0,55	0,55	0,8	0,8
		0,5	0,5	2	2	1,1	1,1					
3	Подбор и изучение материалов	5	5	11	11	7,4	7,4	Р	3,7	3,7	5,5	5,5
		5	5	11	11	7,4	7,4					
4	Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	1,0	1,0
		1	1	2	2	1,4	1,4					
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	5	5	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	2,8	2,8
6	Проведение экспериментов	6	6	8	8	6,8	6,8	Б	3,4	3,4	5,0	5,0

№	Название работ	Трудоёмкость работ						Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.		Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	
		t <sub>min</sub> , чел-дн.		t <sub>max</sub> , чел-дн.		t <sub>ож</sub> , чел-дн.			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2					
7	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	2	3	3	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,8	1,8
		3	3	5	5	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	2,8	2,8
8	Оценка полученных результатов	2	2	4	4	2,8	2,8	Р	1,4	1,4	2,1	2,1
		4	4	6	6	4,8	4,8	Б	2,4	2,4	3,6	3,6
9	Определение целесообразности проведения ВКР	3	3	7	7	4,6	4,6	Р	2,3	2,3	3,4	3,4
		3	3	7	7	4,6	4,6	Б	2,3	2,3	3,4	3,4
10	Разработка технологии	2	2	3	3	2,4	2,4	Б	1,2	1,2	1,8	1,8
11	Приготовление опытных образцов	3	3	4	4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	2,5	2,5
		14	14	28	28	19,6	19,6	Б	9,8	9,8	14,5	14,5
12	Испытания опытных образцов	2	2	4	4	2,8	2,8	Р	1,4	1,4	2,1	2,1
		5	5	7	7	5,8	5,8	Б	2,9	2,9	4,3	4,3
13	Составление пояснительной записки	13	13	16	16	14,2	14,2	Б	7,1	7,1	10,5	10,5

Р – руководитель; Б – бакалавр.

На основе таблицы 3.2 был построен календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

Таблица 4.3 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней												
			февраль		март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр	1												
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,8												
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	5,5												
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	1,0												
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр	2,8												
Проведение экспериментов	Бакалавр	5,0												
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Бакалавр	3,8												
Оценка полученных результатов	Руководитель, бакалавр	4,6												



Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней												
			февраль		март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	3,4												
Разработка технологии	Бакалавр	1,8												
Приготовление опытных образцов	Руководитель, бакалавр	14,5												
Испытания опытных образцов	Руководитель, бакалавр	4,3												
Составление пояснительной записки	Бакалавр	10,5												

Руководитель	Бакалавр

#### 4.1.4. Бюджет научно-технического исследования

##### 4.1.4.1. Материальные затраты

Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НИР представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Затраты на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.	З <sub>м</sub> ,
Нитрид алюминия	кг	1,5			
Оксид иттрия	кг	0,05			
Изопропиловый спирт	л	5,0			
Алмаз синтетический	кг	0,8			
Итого				46530	

##### 4.1.4.2. Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме. Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{C_n \cdot H_a \cdot n}{100 \cdot k} \quad (5)$$

Где  $C_n$  – первоначальная стоимость оборудования;

$H_a$  – норма амортизации, %;

$n$  – число проработанных месяцев;

$k$  – количество месяцев в году.

Число проработанных месяцев  $n$  берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1248 ч = 1,73 месяца.

Таблица 4.5 - Расчет амортизации оборудования

Наименование оборудования	$C_n$ , руб	$H_a$ , %	$A$ , руб
Весы аналитические Веста В153	15000	10	216
Пресс гидравлический	15000	8	173
РФА- установка ДРОН-3М	180000	12	3114
ДТА- установка STA 449 F3 Jupiter	3000000	12	51900
Печь камерная	70000	12	1211
Итого			56614

#### 4.1.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 4.6 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 4.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	140	140
Количество нерабочих дней		
выходные дни:	16	16
праздничные дни:	6	6
Потери рабочего времени		
отпуск:	0	0
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{мс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Категория	$k_T$	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	Доцент, к.т.н.	0,3	23264	0,3	0,2	1,3	45366	1604	32,5	52156
Бакалавр	Лаборант	0,3	14874	0,3	0,2	1,3	25524	945	62	58614
Итого $Z_{осн}$										110770

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зн}$ , руб.
Руководитель	52156	3801,0	55957
Бакалавр	58614,8	4103,0	62717,8

#### 4.1.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды рассчитывается по следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 4.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	52156	3801,0
Бакалавр	58614,8	4103,0
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,305	
Итого:	36195,8	

#### 4.1.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать и ксерокопирование материалов исследования, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (11)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

$$Z_{\text{накл}} = 258013,5 \cdot 0,16 = 41282 \text{ руб}$$

#### 4.1.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НИИ	46530		табл. 3.4
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	56614		табл. 3.5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	52156	58614,8	табл. 3.7
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3801,0	4103	табл. 3.8
5. Отчисления во внебюджетные фонды	36195,8		табл. 3.9

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
6. Накладные расходы	41282		16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	299296		Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 4.10 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей темы.

#### 4.2. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается

$$\text{как: } I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается как:

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i \quad (13)$$

где  $I_{ri}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Сложность технологии	0,10	3	3	3

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
2. Диэлектрические свойства	0,25	4	5	5
3. Теплофизические свойства	0,15	4	5	4
4. Энергосбережение	0,25	5	5	5
5. Материалоемкость	0,25	5	3	3
Итого	1			

Таблица 4.12 - Сравнительная эффективность разработки

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
	4,40	4,30	4,15

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным.

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик.



### Список публикаций студента

1. Golushkova E. B. , Abramov A. O. , Kovalenko E. Y. The Effect of Iron-Containing Powders on Chemical Compositions of Oils // Procedia Chemistry. - 2015 - Vol. 15. - p. 127-133
2. Абрамов А. О. Новые композиционные материалы для очистки нефтей от гетероатомных компонентов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 3-5
3. Абрамов А. О. О влиянии порошка железа на состав нефти // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 26-29 Мая 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 10-12
4. Мельников Я. Ю. , Абрамов А. О. Изменение состава нефти при воздействии порошком железа [Электронный ресурс] // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XI Международной конференция студентов и молодых ученых, Томск, 22-25 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 414-417.
5. Мухортов Е. С. , Абрамов А. О. , Резвая Е. А. Получение строительных материалов неавтоклавного твердения // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, Томск, 1-6 Апреля 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - Т. 2 - С. 677-679
6. Абрамов А. О. , Гришко Н. Е. Вопросы обеспечения материалами высокотехнологичных отраслей [Электронный ресурс] //

Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 217-221

7. Ильин А. П. , Абрамов А. О. , Голушкова Е. Б. Нанодисперсные материалы для нефтепереработки // Современные технологии и моделирование процессов переработки углеводородного сырья: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, профессора А.В. Кравцова, Томск, 1-3 Октября 2013. - Томск: Изд-во ТПУ, 2013 - С. 142-143