

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние темпа нагрева заготовок на основе углерода на свойства получаемых из них таблеток

УДК 661.666.1.024.1:621.762.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM6A	Борецкий Евгений Александрович		09.06.18

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Видяев Д.Г.	д.т.н.		04.06.18

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		7.8.05.18

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		21.05.18

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		08.06.18

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

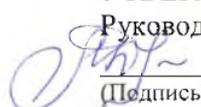
Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие, математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

 12.03.18 Л.И. Дорофеева
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОАМ6А	Борецкий Евгений Александрович

Тема работы:

Влияние темпа нагрева заготовок на основе углерода на свойства получаемых из них таблеток	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1939/с от 20.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.18

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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>Исследование процесса фабрикации таблеток на основе углерода с добавлением различных пластификаторов</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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</i></p>	<p>При разработке магистерской диссертации должны быть рассмотрены следующие вопросы:</p> <p>1. обзор и анализ свойств углеродных материалов используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток; веществ, выступающих в качестве вспомогательных при фабрикации углерода;</p>

<p>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>2. выбор основных факторов, влияющих на режим нагрева углеродных заготовок; 3. определение оптимальных параметров фабрикации углеродных материалов.</p> <p>Выводы по работе.</p> <p>Заключение.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Гоголева Татьяна Сергеевна
По иностранному языку	Старший преподаватель ОИЯ ШБИП Смирнова Ульяна Александровна

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

1. Обзор
2. Основная часть
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
4. Социальная ответственность
5. Influence of the rate of heating of carbon-based billets on the properties of tablets obtained from them

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.03.18
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТФ ФТИ	Видяев Д.Г.	д.т.н.		12.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович		12.03.18

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Норматив заработной платы 2. Стоимость расходных материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Коэффициенты для расчета заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

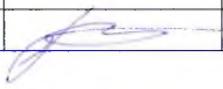
1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования 3. Бюджет научно-технического исследования
2. Разработка календарного план-графика выполнения ВКР	1. Определение показателя технической готовности темы, длительности этапов, коэффициента календарности и продолжительности работ 2. Построение календарного план графика проведения ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение коэффициента социально-научного эффекта НИР 2. Определение коэффициента научно-технического эффекта дипломной работы 3. Оценка ресурсной эффективности НИР

Перечень графического материала

1. Диаграмма Исикавы 2. Матрица ответственности 2. Календарный план-график выполнения ВКР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		18.05.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович		18.05.18

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (механической, электрической и пожарной природы).
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ, с гидравлическим прессом и трубчатой печью; – электробезопасность; – пожаробезопасность; – механическая опасность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		23.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович		23.04.18

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения Весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

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

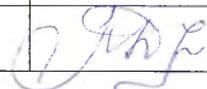
Срок сдачи студентом выполненной работы:	<i>04.06.18</i>
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.03.2018	Разработка ТЗ на ВКР	20
27.03.2018	Составление и утверждение технического задания	10
28.03. – 01.04.2018	Выбор направления исследования и способов решения задач	10
01.04. – 08.04.2018	Сбор и изучение научно-технической литературы	10
28.04. – 10.04.2018	Подготовка установки для проведения эксперимента и написание пояснительной записки	8
10.05. – 10.05.2018	Проведение эксперимента	7
10.05. – 15.05.2018	Анализ и обработка полученных результатов	5
15.05 – 01.06.2018	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	5
01.06. – 04.06.2018	Оформление пояснительной записки	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Видяев Д.Г.	д.т.н.		<i>12.03.18</i>

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		<i>12.03.18</i>

Оглавление

РЕФЕРАТ	11
Введение.....	12
1 Обзор	14
1.1 Перспективные виды топлив.....	14
1.2 Применение водорода в качестве альтернативного источника энергии	15
1.3 Основные способы хранения водорода.....	16
1.4 Сорбция как перспективный способ хранения водорода.....	18
1.5 Свойства углеродных материалов	19
1.5.1 Кристаллическая решетка	21
1.5.2 Физические свойства графитовых материалов.....	22
1.5.3 Химические свойства графитовых материалов	25
1.6 Обеспечение развитой поверхности углеродных таблеток	26
1.6.1 Свойства стеарата никеля.....	27
1.6.2 Свойства стеарата натрия.....	28
1.6.3 Свойства хлорида никеля.....	29
Вывод по главе 1	30
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	31
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	31
1.1.1 Анализ конкурентных технических решений	32
3.1.2 Диаграмма Исикавы.....	36
3.2 Планирование НИР	38
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	39
3.2.2 Планирование этапов и работ по выполнению НИР.....	40
3.2.3 Разработка плана проекта.....	41

3.3 Бюджет научного исследования	43
3.3.1 Материальные затраты	44
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	46
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	49
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	49
3.3.5 Накладные расходы.....	50
3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	50
3.4 Организационная структура проекта	51
3.5 Матрица ответственности	52
3.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	54
4 Социальная ответственность	59
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	60
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и установке	61
4.2.1 Организационные мероприятия.....	61
4.2.2 Организация рабочего места при работе на ПЭВМ	62
4.3 Условия безопасной работы.....	64
4.4 Электробезопасность	67
4.5 Требования безопасности во время работы с прессом.....	69
4.6 Пожарная безопасность	70
4.6.1 Основы пожарной безопасности	70
4.6.2 Правила пожарной безопасности при работе с трубчатой печью	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78
Приложение А	81
Приложение Б.....	100
Приложение В.....	103
Приложение Г	106

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 162 страницы, 37 рисунков, 48 таблиц, 28 источников, 31 формула, 4 приложения.

Ключевые слова: технический углерод, стеарат натрия, стеарат никеля, прессование, таблетирование.

Разработка новых методик формования порошков с целью получения таблеток с заданными свойствами плотности, пористости и прочности является актуальной проблемой в области разработки материалов для хранения водорода.

Объектом исследования являются углерод, стеарат натрия, стеарат никеля, порошки, получаемые путем смешения углерода и стеаратов, таблетки, получаемые путем прессования порошков с их дальнейшим нагревом.

Цель работы: Определение оптимальных параметров, влияющих на режим нагрева, при фабрикации порошков на основе углерода с добавлением различных пластификаторов.

Структура работы: магистерская диссертация состоит из четырех частей. В первой части проведен обзор и анализ свойств углеродных материалов используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток; веществ, выступающих в роли пластификаторов при фабрикации углерода.

Во второй – представлено описание химического синтеза стеарата никеля, термический анализ материалов, используемых в ходе исследования и их свойства, а также условия фабрикации порошков и свойства, полученных таблеток.

В третьей части приведен предпроектный анализ работы, экономический расчет затрат на проведение исследования, составлен календарный план работы.

В четвертой – рассмотрена охрана труда и техника безопасности при проведении научно-исследовательской работы.

Введение

Идея зеленой экономики, принятая в качестве программы ООН по окружающей среде в 2008 году предполагает разработку и повсеместное внедрение технологий, обеспечивающих эффективное использование природных ресурсов, снижение загрязнения окружающей среды, увеличение занятости населения.

В области энергоносителей основное внимание уделяется возобновляемым источникам (ВИ) энергии, к которым можно отнести солнце, ветер, биотопливо, мировой океан и др. Хотя запасы энергии ВИ можно считать неограниченными, возникает необходимость сохранения накопленной энергии в течении длительного времени. Одним из способов сохранения энергии является использование накопителей, в которых энергия сохраняется в химической форме. К таким накопителям можно отнести водород, на производство которого требуется совершить определенные затраты энергии, после чего он может длительное время храниться. Преимущества водорода состоят в возможности его применения, как в традиционных бензиновых двигателях внутреннего сгорания, так и в топливных ячейках, где при взаимодействии с кислородом образуется вода и выделяется электрическая энергия.

Важной проблемой на пути распространения водородного топлива является создание способа хранения водорода, при котором будет обеспечиваться невозможность его детонации в случае разгерметизации системы хранения, и экономическая оправданность предлагаемого способа.

В соответствии со стандартами Международного Энергетического Агентства, способ хранения водорода считается эффективным в случае, когда массовая доля газа составляет не менее 5 % по сравнению с массой системы хранения.

На сегодняшний день перспективными накопителями водорода считаются различные порошковые углеродные материалы, выступающие в

качестве сорбентов. Применение порошков в свою очередь имеет ряд недостатков, в частности: меньшая, по сравнению с компактируемыми формами, удельная площадь контакта газа с сорбентом; низкая плотность сорбента; большое гидравлическое сопротивление при насыщении порошков газом; негативное воздействие на работу топливной системы за счет ее загрязнения мелкодисперсным сорбентом.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методики создания таблетлируемых форм хранения водорода на основе углеродных сорбентов.

Целью данной работы является определение оптимальных параметров, влияющих на режим нагрева, при фабрикации порошков на основе углерода с добавлением различных пластификаторов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. обзор и анализ свойств углеродных материалов используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток; веществ, выступающих в роли пластификаторов при фабрикации углерода;
2. определение основных факторов, влияющих на режим нагрева углеродных заготовок;
3. выбор оптимальных параметров фабрикации углеродных материалов.

1 Обзор

1.1 Перспективные виды топлив

В условиях приближающегося истощения традиционных энергоресурсов для любой страны значимыми являются исследования и поиск практических решений получения и использования альтернативных источников энергии.

Уже сегодня доля альтернативных источников энергии в некоторых странах достигает четверти от общего количества генерируемой энергии. К примеру, по данным Международного энергетического агентства (МЭА) [1] лидирующие позиции в развитии внутреннего рынка альтернативных источников энергии занимают Исландия (доля ВИЭ – 25 %), Дания (20,6 %), Португалия (18 %), Испания (17,7 %) и Новая Зеландия (15,1 %).

В области автотранспорта перспективными считаются: водород, метан и бутан-пропановая смесь.

Метан (CNG, Compressed Natural Gas – сжатый природный газ) является газом природного происхождения, он не имеет цвета и запаха. Наивысшая критическая температура метана составляет $-82\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть при нормальных условиях метан не может быть сжижен без понижения его температуры. Это обстоятельство затрудняет разработку транспортируемых систем хранения метана. Более полное сгорание метана в двигателе (по сравнению с бензином) обеспечивается большей концентрацией водорода в газе. В соответствии с данными, приведенными в таблице 1.1 видно, что удельная теплота сгорания метана близка к теплоте сгорания бензина, но в то же время в 2,4 раза ниже, чем удельная теплота сгорания водорода. Увеличение массовых затрат метана на получение той же энергии влечет за собой увеличение выброса азота и его соединений (в частности: сероводород – H_2S , меркаптановая сера – CH_3SH и различные твердые примеси) в атмосферу.

Пропан-бутановая смесь имеет следующие преимущества в качестве перспективного топлива:

– нет образования нагара на внутренних поверхностях оборудования;

– не влияет на качество моторного масла, что в свою очередь приводит к меньшему износу трущихся поверхностей.

К недостаткам можно отнести следующее:

- производство пропан-бутановой смеси зависит от запасов нефти;
- происходит резкое ухудшение свойств вещества при низких температурах.

Таблица 1.1 – Удельная теплота сгорания основных топлив [2]

Топливо	Удельная теплота сгорания, МДж/кг
Бензин	44
Водород	119,83
Метан	50
Водород + метан (50 % H ₂ и 50 % CH ₄ по массе)	85
Водород + метан + углекислый газ (33 % H ₂ , 33 % CH ₄ и 33 % CO ₂ по массе)	60
Водород + углекислый газ (50 % H ₂ и 50 % CO ₂ по массе)	65
Пропан + бутан (50 % C ₃ H ₈ и 50 % C ₄ H ₁₀ по массе)	45,6

1.2 Применение водорода в качестве альтернативного источника энергии

Среди источников альтернативного топлива перспективным является водород, основным его преимуществом выступает экологическая чистота (в процессе горения выделяется вода). В России водород применяется в различных областях [3], традиционными выступают химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия, органический синтез,

пищевая промышленность, ракетно-космическая отрасль, стекольная промышленность и потенциальными являются транспорт (двигатели внутреннего сгорания), энергетика (газовые турбины), электрохимическая промышленность (топливные элементы). Объем мирового производства водорода в 2013 г. оценивался в 55-58 млн т., в том числе доля России составляла 8 % или 4.5 млн т.

Использование водорода в качестве основного или вспомогательного топлива в сегменте автомобильного транспорта открывает перспективы его применения в качестве глобального энергоресурса. Тем не менее, до сих пор остается ряд нерешенных проблем, наиболее важной из которых является обеспечение безопасного хранения водорода и его транспортировки.

1.3 Основные способы хранения водорода

На сегодняшний день наиболее часто используемым способом хранения водорода является его содержание в баллонах при повышенном давлении. В зависимости от давления, водород может храниться как в газообразном, так и в сжиженном состояниях. На рисунке 1.1 представлены основные принципы, позволяющие осуществлять хранение водорода.

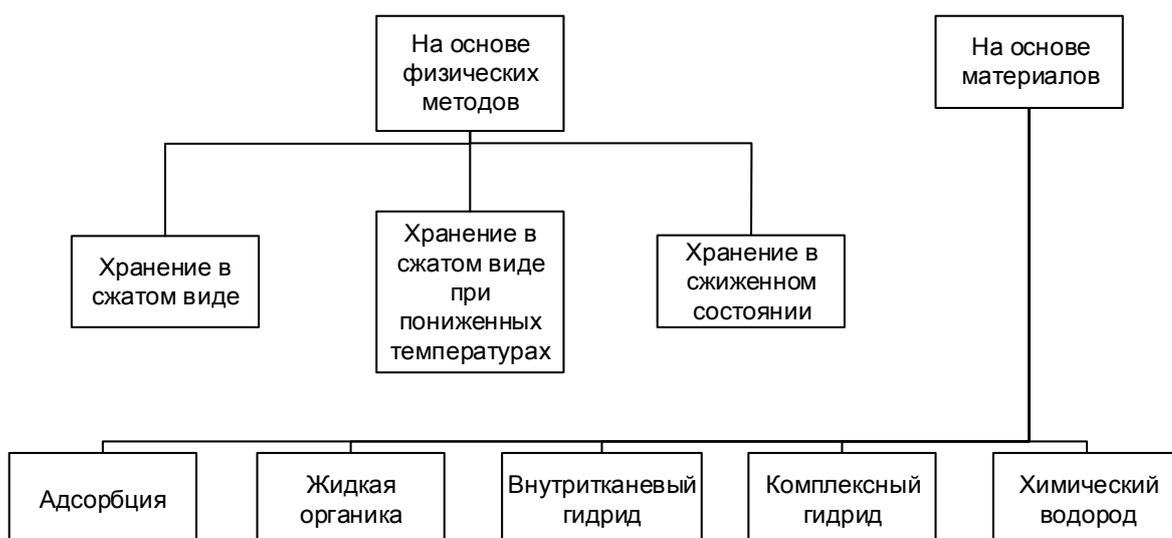


Рисунок 1.1 – Принцип хранения водорода

На основе представленных выше принципов разработаны способы хранения водорода, применяемые как для стационарного хранения, так и для транспортировки. В таблице 1.1 приведены существующие способы хранения водорода, а также их характеристики.

Таблица 1.2 – Способы хранения водорода и их характеристики [4]

Способы хранения	Содержание H ₂ , масс.%	Преимущества способа хранения	Недостатки
Основные способы хранения H ₂			
Газообразный H ₂ (27 °С, 10 МПа)	100	отработанная технология	большая масса тары, малое содержание в объеме
Жидкий H ₂ (-252,6 °С)	100	плотность – 71 кг/м ³	потери H ₂ на испарение, стоимость
Перспективные способы хранения H ₂			
Гидриды металлов, интерметаллидов и сплавов	1,4-19,35	хранение в твердой фазе удобно и безопасно	постепенная деградация структуры
Криоадсорбция	0,05-2	отработанная технология	низкое объемное содержание H ₂ – 0,5...20 кг/м ³ . Необходимость поддержания условий: -118 °С, 6,9 МПа.
Сорбция углеродными материалами	результаты исследований имеют высокую дисперсию	плотность H ₂ – 30...100 кг/м ³	недостаток опыта производства накопителей водорода на основе углеродных материалов

Таблица 1.3 – Требования системам хранения водорода применяемым в автотранспорте [5,6]

Япония	США	Международное Энергетическое Агентство
<p>Массовая доля водорода в системе >3 %.</p> <p>Температура дегидратации < 373 К.</p> <p>Возможность перезарядки при сохранении емкости системы >90% после 5000 циклов перезарядки.</p>	<p>Массовая доля водорода в системе > 6 %.</p> <p>Объемная доля газа > 3 %.</p>	<p>Массовая доля водорода в системе > 5 %.</p> <p>Температура дегидратации < 423 К.</p>

В соответствии с таблицей 1.1, перечисленные способы хранения водорода обладают как достоинствами, так и недостатками, значительно ограничивающими их использование в современной технике и технологии. В такой ситуации затруднительно определить наиболее универсальный способ хранения водорода, который можно было бы одновременно использовать как для хранения больших объемов газа стационарно, так и для транспортировки на большие расстояния.

1.4 Сорбция как перспективный способ хранения водорода

Хотя представленные в таблице 1.1 перспективные способы хранения водорода обладают определенными недостатками, в качестве дальнейшего рассмотрения был выбран способ хранения водорода путем его адсорбции углеродными материалами, поскольку данный способ лишен недостатков криоадсорбции и в перспективе может быть получена высокая плотность водорода. Удержание водорода таким способом основано на силах Ван-дер-Ваальса (межмолекулярного взаимодействия). Важным преимуществом

является образование связи молекулярного водорода с сорбентом, которая приводит к отсутствию свободного газа в аккумуляторе водорода и, как следствие, исключается перспектива самопроизвольной детонации водорода.

Кроме того, ранее, в работе [7] была показана возможность использования углеродных материалов для накопления водорода, в которой одной из причин, подтверждающих перспективность использования углерода в качестве сорбента названа его развитая пористая структура. Поскольку высокая пористость материала является важным фактором процесса сорбции, в дальнейшем, предполагается использовать таблетки на основе технического углерода.

Кроме того энергия адсорбции данного материала при различных степенях покрытия наименьшая и составляет $-4,25$ эВ, в то время как средняя энергия адсорбции водорода фуллеренами и нанотрубками соответственно $-2,63$ эВ и $-2,41$ эВ. Это говорит о том, что при прочих равных условиях процесс сорбции водорода будет более стабильным при использовании технического углерода.

1.5 Свойства углеродных материалов

Свойства веществ определяются их химическим составом, структурой кристаллической решетки и строением молекул, из которых состоит вещество.

В периодической системе углерод имеет порядковый номер 6, его атомная масса равна $12,011$ г/моль. Нейтральный атом описывается следующей электронной конфигурацией: $1s^2 2s^2 2p^2$, в таком состоянии валентность атома равняется двум. В случае распределения электронов как $1s^2 2s^1 2p^3$ – атом становится четырехвалентным. На рисунке 1.2 представлена структура аллотропных модификаций углерода.

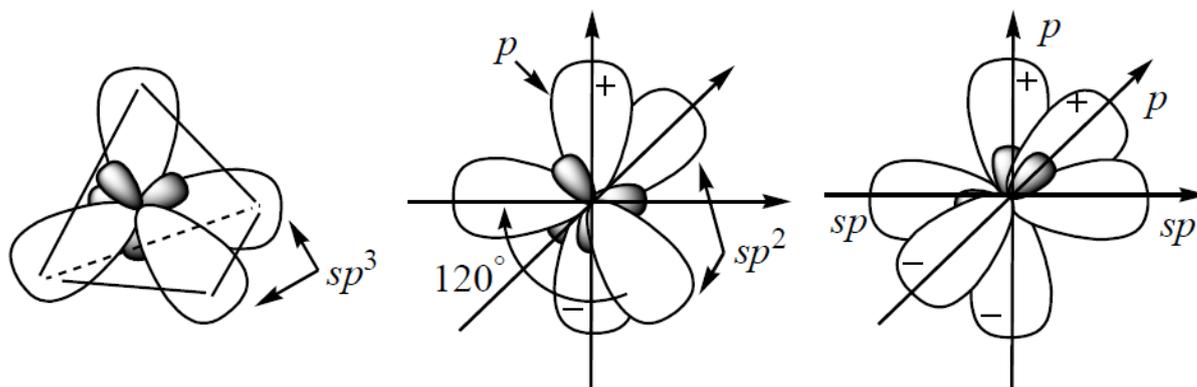


Рисунок 1.2 – Структура аллотропных модификаций углерода

Типы кристаллических решеток определяются особенностями валентного состояния атомов углерода:

1. в состоянии sp^3 -гибридизации атомы углерода могут совместно образовывать тетраэдрические σ -связи, в результате чего возникает структура алмазного типа;

2. в состоянии sp^2 -гибридизации атомы образуют многослойные структуры (например, графит). В таких материалах основой является слой из шести атомов углерода – гексагональная плоская структура (рис. 1.3).

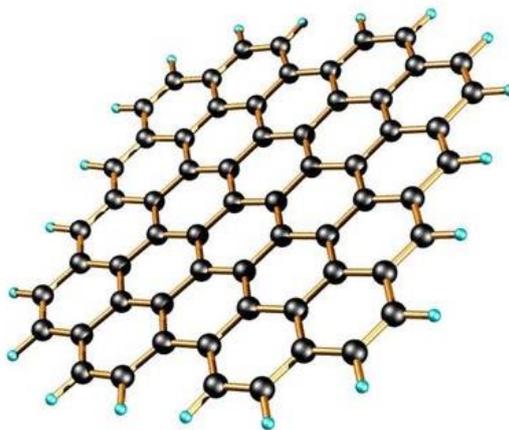


Рисунок 1.3 – Слой атомов углерода при sp^2 -гибридизации

3. структура углерода в состоянии sp -гибридизации можно представить цепочками атомов $-C\equiv C-$ или $=C=C=$, связанных друг с другом слабо.

4. возможен случай, когда углерод находится в состоянии sp^2 -гибридизации и образует шарообразные агломераты – фуллерены.

1.5.1 Кристаллическая решетка

Структура кристаллической решетки технического углерода представляет собой слои графита, состоящие из шестиугольных колец, образованных атомами углерода. Наименьшее расстояние между атомами в таком кольце составляет 0,142 нм, а энергия связи атомов в слое графита равна 167,6 кДж/моль при температуре 1118 °С. В свою очередь, энергия связи между слоями составляет 16,75 Дж/моль при 15 °С.

Атомы гексагональной структуры кристаллической решетки в каждой из плоскостей находятся выше и ниже центров правильных шестиугольников, находящихся в выше и ниже расположенных плоскостях. Таким образом, выше расположенный слой сдвинут по горизонтали относительно нижнего на величину δ , величина которой равна межатомному расстоянию в слое – 1,417 Å. Следующий (нечетный) слой также сдвинут на величину δ , но в противоположном направлении. Кристаллическая ячейка представлена прямоугольной призмой, в основании которой лежит ромб со стороной $a = 2,456 \text{ \AA}$, расстояние между слоями $c = 3,354 \text{ \AA}$.

Основное отличие ромбоэдрической структуры состоит в относительном сдвиге между соседними слоями на величину $\delta = 1,417 \text{ \AA}$ по горизонтали в одну сторону. Таким образом, каждый четвертый слой схож с первым и вся структура имеет трехслойное строение. Такая компоновка менее устойчива, по сравнению с гексагональной. Переход из ромбоэдрической в гексагональную структуру происходит при повышении температуры, в диапазоне 2200-3030 °С. Физическое воздействие на материал с последующим его размельчением приводят к увеличению доли ромбоэдрической решетки в структуре графита. Природная доля этой решетки составляет около 20 %.

1.5.2 Физические свойства графитовых материалов

Пористость. При формировании пористого тела образующиеся пустоты могут быть разделены друг от друга без выхода на поверхность образца; такие поры называются недоступными. Поры, имеющие связь с поверхностью тела, но не связанные между собой называются тупиковыми. Поры, связанные между собой и имеющие выход на поверхность образца называются транспортными (канальными), поскольку по этим порам осуществляется массоперенос в пористом теле (диффузия, фильтрация). Как правило, расположение пор в материале не упорядоченно, поры не обладают правильной геометрической формой и имеют различные размеры.

Разделяют общую, открытую и недоступную пористость. Общая пористость представляет долю объема всех пор в единице объема образца.

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{ТВ}}}, \quad (1.1)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объем пор;

$V_{\text{ТВ}}$ – общий объем образца.

Для изучения структуры пористого тела определяются основные характеристики пористости: объем транспортных пор, распределение пор по размерам и проницаемость по отношению к жидкостям и газам.

Доля транспортных пор в объеме тела определяется следующим соотношением:

$$\Pi_{\text{тр}} = 1 - \frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{и}}}, \quad (1.2)$$

где $d_{\text{к}}$ – кажущаяся плотность, г/см³;

$d_{\text{и}}$ – истинная (пикнометрическая) плотность, г/см³.

Величина определяемой плотности зависит от размера молекул пикнометрической жидкости – чем меньше молекулы, тем больше объем транспортных пор. В качестве пикнометрических жидкостей для материалов на основе углерода могут применяться: вода, бензол, метиловый спирт, этиловый

спирт, гептан. Заполнение пор образцов производится при кипячении в специальных пикнометрах. По результатам анализов при использовании спиртов, бензола или гептана получаются близкие результаты, что говорит об отсутствии у них эффекта молекулярного сита. При использовании в качестве пикнометрической жидкости воды для определения $d_{и}$ получаются меньшие значения, чем у жидкостей, указанных выше, это можно объяснить гидрофобностью графита и его плохой смачиваемостью.

Аналогично, может быть определена общая пористость по формуле:

$$P_{\text{общ}} = 1 - \frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{р}}}, \quad (1.3)$$

где $d_{\text{р}}$ – плотность, г/см³, определенная на основе данных рентгеноструктурного анализа по геометрическим размерам элементарной ячейки.

Доля объема, недоступная для заполнения:

$$P_{\text{н}} = 1 - \frac{d_{\text{и}}}{d_{\text{р}}}. \quad (1.4)$$

Для более точного определения пористости применяют газы, наиболее подходящим из которых является гелий. Молекулы гелия обладают малым размером, что позволяет газу проникнуть в большее число пор, кроме того, в стандартных условиях гелий практически не адсорбируется на стенках пор.

Распределение пор по размерам является важной характеристикой пористых тел. Поры подразделяют по размерам следующим образом [8]:

- менее 15 Å – микропоры;
- 15-2000 Å – переходные поры;
- более 2000 Å – макропоры.

Для изучения распределения пор по размерам наибольшее распространение получили методы: ртутная порометрия [9], метод рассеяния рентгеновских лучей под малыми углами [10] и адсорбционные методы. Метод рассеяния рентгеновских лучей и адсорбционные методы используются при изучении распределения микро- и переходных пор. Ртутной порометрией

определяют размер пор в зависимости от прилагаемого гидростатического давления:

$$r = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{P}, \quad (1.5)$$

где r – радиус пор, заполняемых ртутью при давлении P , см;

σ – поверхностное натяжение ртути, дин/см²;

θ – угол смачивания поверхности стенок пор ртутью, градусы.

В таблице 2 приведены данные о пористости различных углеграфитных материалов.

Таблица 1.4 – Пористость различных углеграфитных материалов

Материалы	Пористость, %
графитированные	20-30
обожженные	14-25
высокоплотные	10-12
высокопористые	80-85
пирографит	2-3

Проницаемость является одной из важнейших характеристик пористой структуры, которая может оказывать влияние на технологические и эксплуатационные параметры материала. По отношению к газу или жидкости проницаемость характеризуется коэффициентом проницаемости – B , см² или коэффициентом фильтрации K , см²/сек. K зависит не только от свойств пористого тела, но и от фильтрующей среды. Коэффициент проницаемости определяется по формуле Лейбензона [11]:

$$B = \frac{Q \cdot \eta \cdot L}{\Delta p \cdot S}, \quad (1.6)$$

где Q – расход газа, см³/с;

L – длина образца, см;

L – длина образца, см;

η – вязкость, П;

Δp – изменение давления, дин/см²;

S – фильтрационная площадь, см².

Коэффициент фильтрации определяется следующим уравнением [12]:

$$K = \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \cdot \frac{V \cdot L}{\Delta P \cdot S'} \quad (1.7)$$

где $\frac{\Delta p}{\Delta \tau}$ – скорость увеличения давления, мм.рт.ст/с;

V – калиброванный объем, см³;

ΔP – изменение давления, мм.рт.ст.

Среднее значение K находится в диапазоне значений от 1 до 2,5 см²/с. Наличие в материале трещин, раковин и каверн приводит к увеличению проницаемости. Уменьшение степени образования дефектов возможно при правильном режиме нагрева материала и равномерном составе таблеток (гранул).

Количественное определение величины проницаемости производится динамическим и статическим методами. В случае определения проницаемости статическим методом реализуется постоянные перепад давлений и происходит измерение объема газа (или жидкости), прошедшего сквозь образец. При динамическом методе – давление изменяется непрерывно.

Линейное расширение углеродистых материалов анизотропно – в перпендикулярном направлении расширение оказывается большим, по сравнению с расширением в параллельном направлении. Большинство углеродистых материалов имеет среднее значение коэффициента линейного расширения $5,3 \cdot 10^{-6}$ 1/К в диапазоне температур 300-1800 °С.

1.5.3 Химические свойства графитовых материалов

Все углеродистые материалы имеют в своем составе серу и минеральные примеси. Графит может принимать участие в реакциях окисления, возможно образование карбидов при взаимодействии с металлами и некоторыми неметаллами.

С увеличением температуры число реакций, в которых могут участвовать графиты, растет. Так, при температуре 400 °С начинается взаимодействие с кислородом воздуха, при повышении температуры до 500 °С – с углекислым газом. Чем выше упорядоченность кристаллической структуры материала, тем выше нижняя граница начала реакции взаимодействия. Для повышения стойкости графита к окислению возможно использовать некоторые вспомогательные элементы, например фосфор, хлор или кремний.

Атомы некоторых элементов, относящихся к щелочным и щелочноземельным металлам способны проникать между слоями графита, приводя к деформации кристаллической решетки с дальнейшим разрушением материала.

1.6 Обеспечение развитой поверхности углеродных таблеток

Эффективное устройство для хранения водорода должно соответствовать основным критериям экономичности – обладать небольшой массой, компактностью, эргономичностью, невысокой стоимостью, безопасностью при хранении и использовании, а также возможностью многократного использования без значительных потерь производительности. Применение таблеток на основе порошков имеет ряд преимуществ перед непосредственным использованием мелкодисперсных веществ, в частности таблетки обладают более развитой поверхностью, постоянной пористостью и устойчивой структурой. Кроме того, вследствие применения порошков возможно засорение вакуумного оборудования.

По результатам проведенного эксперимента было определено, что технический углерод плохо сохраняет свою форму после прессования. Для дальнейшей работы было принято решение использовать связующие вещества – материалы-пластификаторы в процессе прессования углерода. Перспективными в этом случае можно назвать парафины, воска и стеараты, то есть вещества имеющие невысокую температуру плавления.

Применение восков и парафинов в качестве связующих веществ не целесообразно, поскольку они не полностью испаряются, оставляя после себя органические вещества, загрязняющие углерод. Стеараты в свою очередь удовлетворяют заданным требованиям: при нагреве они полностью испаряются.

В работе [7] показано, что время насыщения образцов водородом может достигать нескольких сотен или даже тысяч часов, что затрудняет массовое применение накопителей водорода на основе сорбционных процессов. В работе [13] представлены каталитически активные материалы, которые могут быть использованы для повышения скорости сорбции. К таким материалам относятся: Ni, Ti, V, W, Nb, Fe, Co, Rh, Pd, Ta, Pt, Mo.

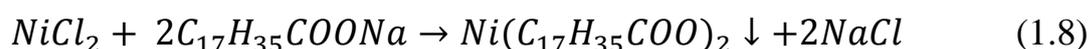
Из представленных выше металлов наиболее подходящим является никель, поскольку он обладает невысокой стоимостью, доступен для приобретения, а также в соединении со стеариновой кислотой ($C_{17}H_{35}COOH$) образует стеарат никеля – $Ni(C_{17}H_{35}COO)_2$.

1.6.1 Свойства стеарата никеля

Стеарат никеля является солью никеля и стеариновой кислоты, представляет собой зеленый легковзвешенный нелетучий порошок с плотностью $1,13 \text{ г/см}^3$. Вещество не растворимо в воде, метиловом и этиловом спиртах, эфире, мылится и горит. Растворимо в пиридине (C_5H_5N) и тетрахлорметане (CCl_4), слабо растворимо в ацетоне (C_3H_6O) [14].

Температура плавления стеарата никеля (справочно) – $100 \text{ }^\circ\text{C}$, реальная температура плавления может изменяться в диапазоне от $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (полученный из метанола) до $250 \text{ }^\circ\text{C}$ (технический). По другим данным [15] температура плавления равна $82\text{--}86 \text{ }^\circ\text{C}$.

Получение стеарата никеля возможно путем взаимодействия стеарата натрия и хлорида никеля:



Реакция протекает в водном растворе при температуре 60 °С, поскольку соединения стеарата натрия и хлорида никеля растворимы в воде. В процессе реакции стеарат никеля выпадает в осадок, после чего необходимо провести фильтрацию получившегося раствора и просушить осадок. На рисунке 1.4 приведена рациональная формула стеарата никеля.

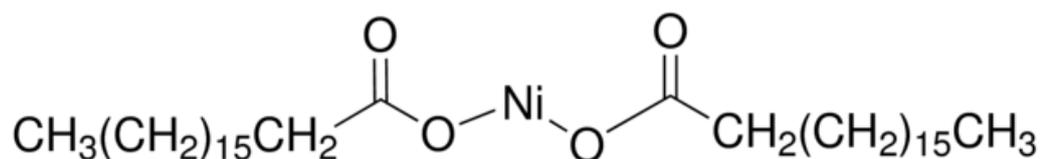


Рисунок 1.4. Структурная формула стеарата никеля

Таблица 1.5 – Свойства стеарата никеля [16]

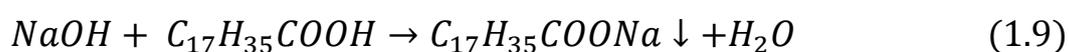
Химическая формула	$\text{NiC}_{36}\text{H}_{70}\text{O}_4$
Рациональная формула	$\text{Ni}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$
Молярная масса, г/моль.	625,63
Плотность, г/см ³	1,13
Температура вспышки, °С	вспышки нет
Температура плавления, °С	82-86, 100
Температура разложения, °С	не определена

Область применения. Применяется в качестве пластификатора пластмасс и катализатора полимеризации [17].

1.6.2 Свойства стеарата натрия

Стеарат натрия – соль стеариновой кислоты, представляет собой бесцветные кристаллы. Химическая формула $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$.

Получается путем нейтрализации стеариновой кислоты едким натром:



Стеарат натрия хорошо растворяется в горячей воде и этаноле.

Образует кристаллогидрат следующего вида: $C_{17}H_{35}COONa \cdot \frac{1}{2}H_2O$. При соединении со стеариновой кислотой образует кислую соль $NaH(C_{17}H_{35}COO)_2$.

Основные свойства стеарата натрия представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Свойства стеарата натрия

Химическая формула	$NaC_{18}H_{35}O_2$
Рациональная формула	$C_{17}H_{35}COONa$
Молярная масса, г/моль.	306,46
Плотность, г/см ³	1,07
Температура вспышки, °С	176
Температура плавления, °С	255-272
Температура разложения, °С	≈300

На рисунке 1.5 приведена рациональная формула стеарата никеля.

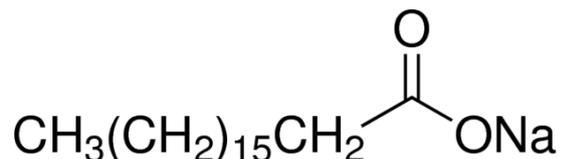


Рисунок 1.5 – Структурная формула стеарата натрия

Стеарат натрия применяется в качестве вещества, входящего в состав моющих средств, косметики, также применяется в качестве загустителя смазок, стабилизатора при формовании полиамидов и в качестве антивспенивающей добавки в пищевой промышленности.

1.6.3 Свойства хлорида никеля

Хлорид никеля (II) – неорганическое соединение, ангидрид которого представляет собой золотисто-желтые блестящие кристаллы, с химической формулой $NiCl_2$. Хлорид никеля (II) гигроскопичен, на воздухе образует гексагидрат приобретая зеленую окраску $NiCl_2 \cdot 6H_2O$.

Таблица 1.7 – Свойства хлорида никеля (II)

Химическая формула	NiCl ₂
Молярная масса, г/моль.	ангидрид – 129,59 гексагидрат – 237,59
Плотность, г/см ³	ангидрид – 3,55 гексагидрат – 1,92
Растворимость в воде, г/100 мл	ангидрид: 67,5 (25 °С); 87,6 (100 °С) гексагидрат: 123,8 (25 °С); 160,7 (100 °С)
Растворимость	Растворим в гидразине (0,8 г/100 мл); этилен гликоле, этаноле, гидрате аммиака; не растворим в азотной кислоте, аммиаке.
Температура плавления, °С	ангидрид – 1001 гексагидрат – 140
Температура кипения, °С	ангидрид – 1627 (сублимация при 973)

Применяется в гальванотехнике в качестве катализатора-переносчика хлора.

Вывод по главе 1

На основании проведенного обзора литературных источников показаны существующие и перспективные способы хранения водорода, а также представлены характеристики материалов, используемых в качестве пластификаторов (стеарат никеля, стеарат натрия).

Анализ свойств и строения рассмотренных материалов позволил получить необходимые данные для проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения [22].

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной работе исследуются особенности фабрикации и нагрева таблеток на основе углерода с добавлением различных пластификаторов. Пластификаторы выполняют роль связующих веществ – при подготовке пресс-порошка они смешиваются с углеродом, благодаря чему он приобретает определенную пластичность. После нагрева таблеток пластификаторы испаряются, тем самым образуется дополнительная пористость внутри углеродного материала.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является разработка технологии изготовления таблеток на основе углерода и изучение их физико-механических свойств.

В перспективе, целевым рынком будут являться автопроизводители, а также организации, занимающиеся производством робототехники и дронов.

Сегментировать рынок услуг по использованию конкретного способа хранения водорода можно относительно уровня потребления газа. Результаты сегментирования представлены в рисунке 3.1.

		Способ хранения водорода		
		Газообразный H ₂ (300 К, 10 МПа)	Жидкий H ₂ (20,4 К)	Сорбированный H ₂ в таблетках
Объемы потребления водорода	очень высокие (сотни тонн)			
	высокие (тонны)			
	низкие (килограммы)			

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг относительно уровня потребления водорода

1.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть перечисленные выше способы хранения водорода: газообразный, жидкий, сорбированный.

Хранение газообразного водорода осуществляется в газгольдерах, естественных и искусственных подземных хранилищах. Хранение газообразного водорода при давлении до 100 МПа происходит в сварных

сосудах с многослойными стенками. Газообразный водород перевозят в сосудах под давлением до 20 МПа. Одной из основных проблем такого хранения является высокая масса баллона, так, для хранения 1 кг водорода применяются баллоны массой 20-33 кг.

Преимущество хранения водорода в жидком состоянии состоит в значительном уменьшении объема водорода (до 500 раз) по сравнению с газообразным состоянием. Однако водород может находиться в жидком состоянии только в узком интервале температур от -253 °С до -256 °С для поддержания которых требуется организация криогенных систем, что усложняет хранение водорода.

Применение сорбционных систем возможно в случае хранения небольшого запаса водорода. Их преимуществом является отсутствие водорода в газообразном состоянии – весь водород вступает в связь с сорбентом и поглощается им.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 3.1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Сложность реализации заключается в необходимости организации вспомогательных систем (охлаждения, нагрева), разработке новых материалов (способных выдерживать высокие давления, накапливать водород), а также в разработке хранилищ.

Необходимость охлаждения является важным критерием оценки системы хранения, поскольку она подразумевает наличие дополнительного оборудования, что значительно удорожает и усложняет конструкцию, а так же делает ее менее надежной.

Надежность предлагаемого метода значительно выше существующих за счет отсутствия газообразного водорода в системе хранения за счет его сорбции с углеродными материалами. В свою очередь, наличие газообразного водорода в системе приводит к повышению давления, возможной разгерметизации и детонации водорода в случае аварии. Таким образом, предлагаемый способ будет гораздо безопаснее, в сравнении с существующими.

Потребность в материальных ресурсах. Газообразный способ требует минимальное оборудование для хранения водорода, водород содержится в емкостях под давлением. Для хранения сжиженного водорода необходима система постоянного охлаждения, что приводит к усложнению конструкции. Хотя для реализации предлагаемого метода не требуется система охлаждения, тем не менее, есть потребность в сорбционных материалах (углерод), материалах, ускоряющих процесс сорбции (никель, натрий), организации системы нагрева для десорбции водорода.

Массогабаритные параметры определяются непосредственным объемом, который занимает водород. Необходимо учесть, что различные способы хранения водорода используются для различных целей. На рисунке 3.1 показано, что наименьшее потребление водорода у сорбционного способа хранения, а значит и вся система хранения будет небольшой относительно существующих способов.

Конкурентоспособность метода. На сегодняшний день существует потребность в создании безопасной системы хранения водорода, таким образом, предлагаемый вариант будет наиболее конкурентоспособен.

Стоимость разработки является слабым местом предлагаемой технологии. В отличие от существующих способов необходимы затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Предполагаемый срок эксплуатации. Ввиду того, что углеродные таблетки будут подвержены различным разрушающим факторам (вибрация, изменение температуры окружающей среды, периодическое повышение давления) срок их службы будет ниже, чем у существующих способов.

В таблице 3.1 представлена сравнительная оценочная характеристика по представленным выше критериям.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Сложность реализации	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
2. Необходимость охлаждения	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
3. Надежность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
4. Безопасность	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
5. Потребность в материальных ресурсах	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
6. Массогабаритные параметры	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Стоимость разработки	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
Итого	1				4,15	3,9	3,55

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что исследованный в данной диссертационной работе способ таблетирования углерода с целью хранения водородного топлива является перспективным для дальнейших исследований. Конкурентные способы хранения недостаточно удовлетворяют в области безопасности и по массогабаритным параметрам.

3.1.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

В данной научно-исследовательской работе одна из ключевых проблем заключается в разрушении углеродных таблеток в процессе их нагрева. Для анализа проблемы были выделены следующие области, в которых могут лежать причины разрушения таблеток: материалы, оборудование, измерения и персонал.

В области материалов основные проблемы состоят в низком качестве приобретаемых реактивов, их высокой стоимости и большим временем доставки материалов. Важной проблемой является некачественное смешивание углерода и пластификаторов ввиду отсутствия вибростенда или другого смешивающего оборудования. В результате, неравномерность смешивания может привести к неравномерному распределению плотности пор внутри таблетки, повышению внутренних напряжений и дальнейшему разрушению.

В области оборудования основными проблемами являются: отсутствие вибростенда, которое приводит к плохому перемешиванию порошков; пресс, нижний предел работы которого соответствует необходимым для эксперимента давлениям; трубчатая печь, у которой трудно реализовать равномерную скорость нагрева образцов.

В области измерений важным фактором выступает погрешность используемого оборудования и инструментов: штангенциркуля, лабораторных весов, манометра и термодатчика трубчатой печи. В этом случае существует вероятность внесения неверного количества пластификатора в углеродный материал, что может привести к разрушению таблетки.

В области персонала основными проблемами является недостаток квалификации при выполнении работ, связанных с изготовлением пресс-

порошков, при прессовании (давления, времена выдержки) и нагреве заготовок (температура нагрева). Кроме того, существует проблема в недостатке научной информации в открытом доступе: возникла проблема поиска результатов исследований растворимости стеарата натрия в воде.

Диаграмма Исикавы, которая описывающая одну из наиболее актуальных проблем данного исследования представлена на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Причинно-следственная диаграмма разрушения таблеток на основе углерода в рамках описываемой исследовательской работы

Решение проблемы разрушения таблеток в процессе нагрева состоит из решения проблем в указанных областях. В области материалов проблема некачественного смешения реактивов (и проблема отсутствия вибростенда в области оборудования) решаются путем добавления этилового спирта в смесь реагентов с последующим перемешиванием в жидкой фазе. Преимущества этилового спирта состоят в относительно быстром (несколько минут) испарении и дальнейшим устранением путем прокаливания порошка. Проблемы высокой стоимости и несвоевременной доставки решаются путем планирования эксперимента заблаговременно, вследствие чего становится

возможным найти наиболее подходящего поставщика и провести переговоры о стоимости и доставке.

В области оборудования проблема погрешности манометра пресса решается путем использования второй шкалы манометра с дальнейшим пересчетом значений давления. Проблемы, связанные с печью решаются следующим образом: испарения внутренних поверхностей печи в процессе нагрева образцов, приводящие к загрязнению исследуемых материалов, решаются путем организации в печи атмосферы постоянно обновляемого инертного газа, который будет уносить загрязняющие испарения. Неравномерность темпа нагрева решается путем установления точек нагрева превышающих значения заданные экспериментом, таким образом будет использоваться инертность нагревательных элементов печи. Проблема нехватки химической посуды для смесей решается путем хранения порошков одного состава в одном объеме.

В области измерения проблемы решаются путем статистической обработки получаемых результатов с указанием доверительных интервалов.

В области персонала проблема отсутствия необходимой информации решается как с помощью привлечения консультантов – специалистов по определенным вопросам, так и с помощью самостоятельных дополнительных исследований. Проблема недостатка квалификации решается изучением специальной литературы, тщательного планирования и организации эксперимента, контроля на каждом этапе выполнения, а также статистического анализа получаемых результатов.

3.2 Планирование НИР

В настоящее время наука в значительной степени определяет темпы технического прогресса и роста народного благосостояния [23]. Только рациональное использование выделяемых для науки средств, концентрация их на приоритетных направлениях, совершенствование координации деятельности

научно-исследовательских учреждений, быстрое внедрение научных и исследовательских разработок и проектов может ускорит научно-технических прогресс (НТП). Это обуславливает необходимость планирования и организации научно-исследовательских работ (НИР).

Однако важно не только разработать ту или иную научную тему, но и провести её анализ с точки зрения экономических требований, т.е. определить затраты на разработку, продолжительность работ, рассмотреть вопрос об экономической эффективности НИР.

Экономическая часть дипломной работы включает в себя рассмотрение следующих вопросов:

- планирование НИР;
- смета затрат.

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР)– детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке 3.3. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 3.3 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Планирование этапов и работ по выполнению НИР

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Расчет параметров линейного графика требует определения продолжительности работ. При отсутствии нормативов времени на проведение отдельных видов работ используются вероятностные оценки. Порядок этапов и работ приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень категорий, этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы	инженер
	3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Экспериментальные исследования	руководитель, инженер
	6	Анализ и обработка полученных результатов	руководитель, инженер
	7	Расчет экспериментальных данных	инженер
	8	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Экономика, охрана труда и техника безопасности.	инженер
	10	Подготовка к защите	инженер

3.2.3 Разработка плана проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Таблица 3.3 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, календ.дни (рук./инж.)	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	2	26.03.2018	28.03.2018	руководитель
2	Изучение проблемы и подбор литературы	5	28.03.2018	01.04.2018	инженер
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	7	01.04.2018	08.04.2018	инженер
4	Календарное планирование работ по теме	2	08.04.2018	10.04.2018	инженер
5	Экспериментальные исследования	25 (5/25)	10.04.2018	10.05.2018	руководитель, инженер
6	Анализ и обработка полученных результатов	5 (1/5)	10.05.2018	15.05.2018	руководитель, инженер
7	Расчет экспериментальных данных	10	15.05.2018	25.05.2018	инженер
8	Оценка эффективности полученных результатов	2 (1/2)	25.05.2018	27.05.2018	руководитель, инженер
9	Экономика, охрана труда и техника безопасности	6	27.05.2018	01.06.2018	инженер
10	Подготовка к защите темы	8	01.06.2018	08.06.2018	инженер

В таблице 3.4 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 3.4 – План-график научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Март			Апрель			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	руководитель	2			▨										
2	Изучение проблемы и подбор литературы	инженер	5				■									
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	инженер	7				■									
4	Календарное планирование работ по теме	инженер	2				■									
5	Экспериментальные исследования	руководитель, инженер	25				▨	■	■	■	■					
6	Анализ и обработка полученных результатов	руководитель, инженер	5									▨	■			
7	Расчет экспериментальных данных	инженер	10										■	■		
8	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, инженер	2											▨	■	
9	Экономика, охрана труда и техника безопасности	инженер	6												■	
10	Подготовка к защите темы	инженер	8												■	

▨ – Руководитель ■ – Студент

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки.

3.3.1 Материальные затраты

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (3.2)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на химические реагенты, изготовление деталей пресса, электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.5.

Эксперименты проводились 10 дней (всего 128,28 часов), мощность установки (трубчатая печь) 5,5 кВт*час. Кроме того, для расчетов и оформления пояснительной записки использовался персональный компьютер, мощность блока питания которого равна 0,4 кВт. Длительность использования компьютера составила 6 часов в день в течении 36 дней.

В экспериментах используется трубчатая печь CarboliteSTF 15/610. Данная печь имеет одну нагреваемую камеру в виде трубки. С торцов камера закрывается фланцами, имеющими встроенные полости для охлаждающей жидкости. Внешний вид печи представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Внешний вид трубчатой печи CarboliteSTF 15/610

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (3.3)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию 5,8руб. за 1 кВт*ч;

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл.печь} = 5,8 \cdot 5,5 \cdot 128,28 = 4092,13 \text{ руб.}$$

$$C_{эл.ПК} = 5,8 \cdot 0,4 \cdot 216 = 501,12 \text{ руб.}$$

$$C_{эл} = C_{эл.печь} + C_{эл.ПК} = 4092,13 + 501,12 = 4593,25 \text{ руб.}$$

В таблице 3.5 представлены материальные затраты на материалы и оборудование, используемые в научно-исследовательской работе.

Таблица 3.5 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Натрий стеариновокислый	95 %	1 кг	228,00	228,00
Хлорид никеля	98 %	0,5 кг	1361,00	680,50
Изготовление деталей прессы	Ст45	2	5000	10000
Электроэнергия	–	791,94 кВт·ч	5,8	4593,25
Всего за материалы				15501,75
Транспортно-заготовительные расходы				3875,44
Итого по статье С _м				19377,19

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (3.4)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.5)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (3.6)$$

где Z – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает оклад инженера, который составляет 9489 руб. и 31000 руб. для доцента, доктора наук);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

при отпуске в 24 раб.дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл. 3.9);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	104
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	24
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.7)$$

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 следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}}}, \quad (3.8)$$

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

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (с учетом праздничных);

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округлены до целого числа:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} \approx 1,48. \quad (3.9)$$

Определяем число рабочих дней:

$$T_{pi} = \frac{T_{ki}}{k_{\text{кал}}}, \quad (3.10)$$

$$T_{p.\text{рук}} = \frac{9}{1,48} \approx 6 \text{ раб. дней},$$

$$T_{p.\text{рук}} = \frac{70}{1,48} \approx 47 \text{ раб. дней}.$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	k_p	З, руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	1,3	31000	1669,80	6	10018,8
Инженер	1,3	9489	619,55	47	29118,85
Итого З _{осн}					39137,65

3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (3.11)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}}=0,15$);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 3.8 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.8 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	10018,8	29118,85
Дополнительная зарплата, руб	1502,82	4367,83
Зарплата исполнителя, руб	11521,62	33486,68
Итого по статье $C_{зп}$, руб	45008,3	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.12)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$\begin{aligned} Z_{\text{внеб}} &= 0,271 \cdot (10018,8 + 1502,82) + 0,271 \cdot (29118,85 + 4367,83) = \\ &= 12197,25 \text{ руб.} \end{aligned}$$

3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \quad (3.13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (45008,3 + 12197,25) = 9152,89 \text{ руб.}$$

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Калькуляции плановой себестоимости

Наименование статьи затрат	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	19377,19
2. Затраты на оплату труда исполнителей НИР	45008,3
3. Страховые отчисления	12197,25
4. Накладные расходы	9152,89
Итого	85735,63

По результатам полная плановая себестоимость НИР составляет 85735,63 руб., а время, необходимое для его выполнения, составляет 70 календарных дней.

3.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соцответственность»	Консультант по языковому разделу	Инженер
Составление и утверждение технического задания	О				
Изучение проблемы и подбор литературы	С				И
Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	О				И
Календарное планирование работ по теме	О				И

Продолжение таблицы 3.10

Экспериментальные исследования	О				И
Анализ и обработка полученных результатов	С				И
Расчет экспериментальных данных					И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

3.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.14)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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 размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{85735,63}{198567,00} = 0,43.$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{135114,41}{198567,00} = 0,68,$$

$$I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{198567,00}{198567,00} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Сложность реализации заключается в необходимости организации вспомогательных систем (охлаждения, нагрева), разработке новых материалов (способных выдерживать высокие давления, накапливать водород), а также в разработке хранилищ.

Необходимость охлаждения является важным критерием оценки системы хранения поскольку она подразумевает наличие дополнительного оборудования, что значительно удорожает и усложняет конструкцию, а так же делает ее менее надежной.

Надежность предлагаемого метода значительно выше аналогов за счет отсутствия газообразного водорода в системе хранения за счет его сорбции с углеродными материалами. В свою очередь, наличие газообразного водорода в системе приводит к повышению давления, возможной разгерметизации и детонации водорода в случае аварии. Таким образом, предлагаемый способ будет гораздо безопаснее, в сравнении с аналогами.

Массогабаритные параметры определяются непосредственным объемом, который занимает водород. Необходимо учесть, что различные способы хранения водорода используются для различных целей. На рисунке 3.1 показано, что наименьшее потребление водорода у сорбционного способа хранения, а значит и вся система хранения будет небольшой относительно существующих способов.

Таблица 3.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность реализации	0,15	3	5	4
2. Безопасность	0,25	5	3	3
3. Надёжность	0,2	5	4	3
4. Необходимость охлаждения	0,25	5	4	3
5. Массогабаритные параметры	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,7	3,9	3,3

$$I_{\text{ТП}} = 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,7;$$

$$\text{Аналог1} = 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,9;$$

$$\text{Аналог2} = 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,3.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad (3.15)$$

$$I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_\phi^{ai}}, \quad (3.16)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{4,7}{0,43} = 10,93,$$

$$I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_T^{a1}}{I_{\text{фина1}}^p} = \frac{3,9}{0,68} = 5,74,$$

$$I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_T^{a2}}{I_{\text{фина2}}^p} = \frac{3,3}{1} = 3,3.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финаi}}^{ai}}, \quad (3.17)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{10,93}{5,74} = 1,9,$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{10,93}{3,3} = 3,31.$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог		Разработка
		1	2	
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,68	1	0,43
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,3	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	5,74	3,3	10,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,9	3,31	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

4 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда (Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17.07.99 №181 – ФЗ) [24].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководителями, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором называется производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

При работе на ПЭВМ и на оборудовании: гидравлический пресс Carver В, трубчатая печь фирмы Carbolite, модель STF, на инженера воздействуют следующие факторы:

1. Физические:

- 1.1 Температура и влажность воздуха;
- 1.2 Шум;
- 1.3 Статическое электричество;
- 1.4 Электромагнитное поле низкой частоты;
- 1.5 Освещенность;
- 1.6 Наличие излучения.

2. Психофизические:

- 2.1 Физические перегрузки (статические, динамические);
- 2.2 Длительная, монотонная работа, требующая постоянной концентрации;
- 2.3 Нервно-психические перегрузки (умственное напряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

В таблице 4.1 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредоносные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение вычислений на ПЭВМ	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее)	–	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность
	–	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность
Работа на оборудовании: прессование углерода	–	Механические опасности	ГОСТ 31733-2012 – Прессы гидравлические

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и установке

4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

4.2.2 Организация рабочего места при работе на ПЭВМ

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 4.1).

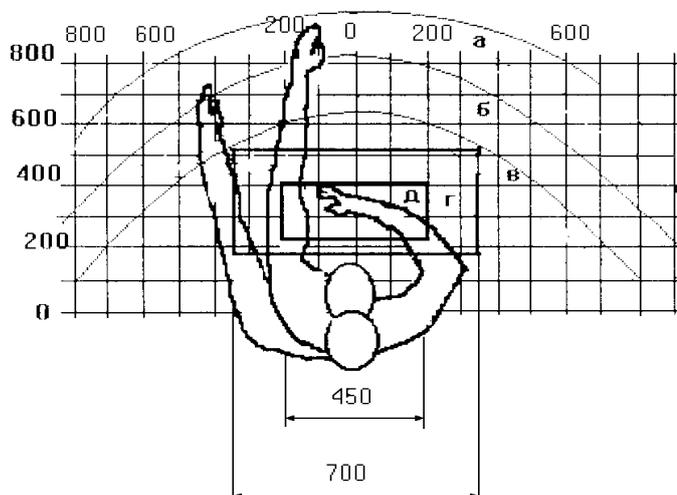


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

- а – зона максимальной досягаемости;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

Дисплей размещается в зоне «а» (в центре);

Клавиатура размещается в зоне «г», «д»;

Системный блок размещается в зоне «б»;

Принтер находится в зоне «а» (справа).

Документация, необходимая при работе, размещается в зоне легкой досягаемости ладони «в» (слева). В выдвижных ящиках стола размещается литература, которая не используется постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 – 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500 – 600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

По высоте +3см;

По наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
В левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с данными, которые приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата [25]

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20 – 25 °С, зимой – 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а

также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [24] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 В/м;

в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;

в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.4 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [26].

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ и другими электронными установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Проходящий через организм электрический ток может оказывать определенное воздействие на организм человека:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение

функциональности внутренних органов, которые находятся на линии протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- организация недоступности к токоведущим частям аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение электрозщитных средств.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

4.5 Требования безопасности во время работы с прессом

Для обеспечения безопасности во время работы с прессом оператор обязан соблюдать и выполнять следующие правила [27]:

1. Выполнять указания руководителя.
2. Контролировать соблюдение заданного режима при прессовании.
3. Непрерывно наблюдать за давлением и уровнем масла в прессе.
4. Вести наблюдение за герметичностью всех соединений технологических трубопроводов, шлангов и гидроцилиндров.
5. Отсоединять шланги, только убедившись, что арматура отключена, и давление по манометру полностью сброшено.

Во время работы не разрешается:

1. Вести у пресса какие-либо работы, не относящиеся к прессованию.
2. Производить ремонт и подтягивать резьбовые соединения оборудования, находящегося под давлением.
3. Использование открытого огня на рабочем месте.
4. Присутствие посторонних людей.
5. Оставлять без надзора работающий пресс.

При работе на прессе аварийные остановки производятся в следующих случаях:

- при несчастном случае с работающими;
- при срыве или разрыве маслопроводов;
- при обнаружении утечки в соединениях маслопроводов и арматуры;
- при нарушении в работе электрооборудования;
- при возможности возникновения пожара.

В этих случаях оператор обязан:

- отключить электропитание пресса;
- оказать первую медицинскую помощь пострадавшим;
- приступить к тушению пожара;
- сообщить о случившемся руководителю;
- принять необходимые меры по ликвидации обнаруженного повреждения.

По окончании работы необходимо:

- опустить верхнюю плиту пресса;
- отключить электропитание пресса;
- снизить давление масла в гидросистеме;
- убрать и привести в порядок рабочее место и доложить руководителю об окончании работ.

4.6 Пожарная безопасность

4.6.1 Основы пожарной безопасности

Согласно [28], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания:

- неисправность токоведущих частей установок;

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- работа в интервале высоких температур;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации (СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»).

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

4.6.2 Правила пожарной безопасности при работе с трубчатой печью

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

При нагреве образцов в трубчатой печи следует строго соблюдать ряд правил, изложенных в прилагаемой к ней технической документации:

Печь следует установить в хорошо вентилируемом помещении вдали от источников тепла и на поверхности, устойчивой к случайным разливам горячих материалов. Не ставить печь на воспламеняемом основании.

Обеспечить свободное пространство вокруг печи. Не блокировать вентиляционные отверстия в блоке управления: они необходимы для охлаждения.

Печь должна быть расположена таким образом, чтобы ее можно было быстро выключить и отсоединить от электропитания.

Срок службы нагревательных элементов сокращается при использовании при температурах, близких к максимальной. Без необходимости не оставлять печь при высокой температуре. Максимальная температура указана на идентификационной табличке печи.

Убедиться, что рядом нет воспламеняемых объектов, на которые может упасть рабочая трубка в случае разлома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из способов хранения энергии является использование накопителей, в которых энергия сохраняется в химической форме. К таким можно отнести водород, на производство которого требуется совершить определенные затраты энергии. Преимущества водорода состоят в возможности его применения, как в традиционных бензиновых двигателях, так и в электрических топливных ячейках.

На основании результатов проведенных исследований, приведенных в настоящей работе, можно сделать ряд выводов:

1. Проведен обзор и анализ свойств углеродных материалов используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток; веществ, выступающих в роли пластификаторов при фабрикации углерода. Показаны существующие и перспективные способы хранения водорода, представлены характеристики материалов-пластификаторов (стеараты никеля и натрия). Анализ свойств и строения таких материалов позволил получить необходимые данные для проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

2. Определены основные факторы, влияющие на режим нагрева углеродных заготовок, к которым можно отнести долю пластификатора, входящего в состав таблетки; режим нагрева заготовок, давление прессования при изготовлении образцов, а также время выдержки при заданном давлении.

3. Проведен выбор оптимальных параметров фабрикации углеродных материалов. Исходя из удовлетворительных результатов экспериментов, выбор оптимальных параметров основывался на экономической эффективности. Таким образом, в данном случае оптимальными параметрами являются:

- давление прессования – 20 МПа;
- время выдержки – 10 мин.;
- доля пластификатора – 3 масс.%;
- режим нагрева – 3 °С/мин.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Vidyaev D. G., Savostikov D. V., Boretsky E. A. and Verkhorubov D. L. Hydrogen sorption by carbon nanostructured materials // Journal of Industrial Pollution Control. – 2016 – Vol. 32, - p. 411-413.
2. Boretsky E. A., Egorova M. S. Creation of Favourable Conditions for Introducing Hydrogen Fuel in Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 132, Article number 012018. - p. 1-6.
3. Boretsky E. A., Egorova M. S., Filippova T. V., Chesnokova I. A., Barysheva G. A. Development of Hydrogen Fuel Production as a Prospect for Establishing Technological Competitive Advantages of Russia // The 27th International Business Information Management Association Conference: Proceedings IBIMA, Milano, May 4-5, 2016. - Norristown: IBIMA, 2016 - p. 1867-1875.
4. Борецкий Е. А., Верхорубов Д.Л. Савостиков Д.В. Перспективы использования соединений черных металлов в качестве вспомогательных веществ для таблетирования технического углерода // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов II международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 30 октября-03 ноября 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - С. 57.
5. Борецкий Е. А. Необходимость внедрения нового вида топлива в контексте динамики цен на нефть // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых. В 3 томах. Том 3 / Томский политехнический университет. – Томск, 3-8 октября 2016. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 120.
6. Видяев Д. Г. , Борецкий Е. А. , Верхорубов Д. Л. Определение сорбционных свойств наноразмерных материалов // Альтернативная энергетика и экология. - 2015 - №. 23. - С. 73-77.

7. Борецкий Е. А. , Видяев Д. Г. , Савостиков Д. В. Аккумуляция водорода углеродсодержащими наноструктурными системами // Известия вузов. Физика. - 2015 - Т. 58 - №. 2/2. - С. 68-72.
8. Видяев Д. Г. , Борецкий Е. А. , Верхорубов Д. Л. Исследование сорбционных способностей различных углеродных модификаций с целью создания системы хранения водородного топлива // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность : материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции: в 2 т., Томск, 2-4 Декабря 2015. - Томск: Скан, 2015 - Т. 2 - С. 165-167.
9. Борецкий Е. А. , Видяев Д. Г. , Верхорубов Д. Л. Определение сорбционных свойств наноразмерных материалов // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов II Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 19-23 Октября 2015. - Томск: Графика, 2015 - С. 28.
10. Борецкий Е. А. , Верхорубов Д. Л. , Видяев Д. Г. Экспериментальное определение сорбции водорода наноструктурными материалами [Электронный ресурс] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 158 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>
11. Борецкий Е. А. , Савостиков Д. В. , Сидоркин А. С. Аккумуляция водорода углеродсодержащими наноструктурными системами // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 20-24 Октября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 47-48.
12. Борецкий Е.А. Новые технологические решения аккумуляции водорода для транспортных средств как альтернатива современным двигателям внутреннего сгорания и перспективы их использования в экомобилях. Eurasia Green: тезисы работ участников международного

конкурса научно-исследовательских проектов молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 20-23 Апреля 2015. - Екатеринбург: УрГЭУ, 2015 - С. 10-11.

13. Особенности подготовки к переходу российского транспорта на водородное топливо. Экономика России в XXI веке: сборник научных трудов XII Всероссийской научно-практической конференции "Экономические науки и прикладные исследования": в 2 т., Томск, 17-21 Ноября 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 310-313.
14. Описание благоприятных условий для перехода Российского Автопрома на водородное топливо. Инновационный менеджмент и технологическое предпринимательство: материалы всероссийского молодежного научного форума: в 2т., Новосибирск, 12-14 Ноября 2015. - Новосибирск: НГТУ, 2015 - Т. 1 - С. 122-125.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Statistics [Электронный ресурс] / International Energy Agency – Режим доступа: <http://www.iea.org/statistics/>, свободный. (Дата обращения 17.04.2018).
2. Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов [Электронный ресурс] / Справочник по свойствам веществ и материалов: плотность, теплопроводность, теплоемкость, вязкость и другие физические свойства веществ в таблицах в зависимости от температуры и давления – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov#teplota-sgoraniya-zhidkogo-topliva>, свободный (Дата обращения 20.04.2018).
3. Дигонский С. В., Тен В. В. Неизвестный водород. – СПб: Наука, 2006.
4. Тарасов Б.П., Гольдшлегер Н.Ф. // Альтернативная энергетика и экология. – 2002. – №3. – с. 20-38.
5. Каплан И. Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. — М.: Наука, 1982. — 312 с.
6. Егорова Е.В. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебное пособие / Егорова Е.В, Поленов Ю.В. Иваново, 2008. – 83 с.
7. Борецкий Е. А. Сорбция водорода наноструктурными углеродными материалами : дипломный проект / Е. А. Борецкий ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Физико-технический институт (ФТИ), Кафедра технической физики (№23) (ТФ) ; науч. рук. Д. Г. Видяев. — Томск, 2016.
8. Хасанов О.Л. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий / Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Бикбаева З.Г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 2012 с.
9. Плаченнов Т.Г. Ртутные порометры / Плаченнов Т.Г., Колосенцев С.Д. – Л.: Химия, 1988. – 176.
10. Суздалев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.

11. Санчес-Паленсия Э. Неоднородные среды и теория колебаний / Пре. с англ. под ред. О.А.Олейник. – М.: Мир, 1984. – С. 176. – 472 с.
12. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации. – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2009. – С. 24–29. — 88 с.
13. Поглотитель водорода на основе углерода: патент Рос. Федерация № 2176981; заявл. 09.11.99; опубл. 20.12.01, Бюл. № – 3 с.
14. Стеарат никеля (II) [Электронный ресурс] / Лаборатория тонкого неорганического синтеза – Режим доступа: <https://stearate.ru/produkcija-na-sklade/glavnaa>, свободный. (Дата обращения 24.04.2018).
15. Nickel (II) stearate [Электронный ресурс] / Sigma-Aldrich – Режим доступа: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/544191?lang=en®ion=RU>, свободный. (Дата обращения 26.04.2018).
16. Safety Data Sheet [Электронный ресурс] / Alfa Aesar – Режим доступа: <https://www.alfa.com/ru/content/msds/british/39451.pdf>, свободный. (Дата обращения 27.04.2018).
17. Хасанов О.Л. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий / О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, З.Г. Бикбаева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 212 с.
18. Use of triethylcitrate plasticizer in the production of poly-L-lactic acid implants with different degradation times / S.M.N. Scapin, D.R.M. Silva, P.P. Joazeiro, M.C. Alberto-Rincon, R.M. Luciano, E.A.R. Duek // Journal of Material Science: Materials in Medicine. – 2003. – Vol.14, №7. – P.635-640.
19. ГОСТ 25279-93. Порошки металлические. Определение плотности после утряски. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 10 с.
20. Искусственный графит / Островский В.С., Виргильев Ю.С., Костиков В.И., Шипков Н.Н. – М.: Metallurgy, 1986. – 272 с.
21. Preparation and characterization of carbon nanotube reinforced silicon nitride composites / Cs. Balazsi, Z. Kónya, F. Wébera, L.P. Biro, P. Arato // Materials Science and Engineering: C. – 2003. – Vol.23, №6-8. – P.1133-1137.

22. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
23. Черепанова Н.В., Тухватулина Л.Р. Экономическая часть ВКР: Методические указания. – Издательство ТПУ, 2013. – 46 с.
24. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – М.: Стандартинформ, 2016. – 10 с.
25. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
26. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. – М.: Стандартинформ, 2016. – 5 с.
27. ГОСТ 31733-2012 – Прессы гидравлические. – М.: Стандартинформ, 2016. – 19 с.
28. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность.

Приложение А

Influence of the rate of heating of carbon-based billets on the properties of tablets obtained from them

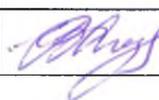
Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Борецкий Евгений Александрович		25.04.18

Руководитель ВКР Отделения ядерно-топливного цикла ИЯТШ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Видяев Д.Г.	д.т.н.		26.04.18

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова У.А.			26.04.18

Abstract

Introduction

Compacting of ultrafine powders with uniform density on volume is a serious problem as nanopowders (NP) poorly pressed and traditional methods of static pressing do not lead to rather high density. The physical cause of bad compressibility of nanopowders are the interfractional adhesive forces, the relative value of which increases dramatically with the reduction of particle size, and, therefore, significantly increases the component of inter-part friction in a pressed powder body. At the same time, fine nanopowders is characterized by low bulk density due to a large volume of sorbed gases. Traditional methods of static pressing do not lead to appropriate density.

Accordingly, the features of technology of nanopowders are associated with their high specific surface which causes high chemical surface activity (agglomeration ability, sorption ability), significantly more high values of interpartial and wall friction at compaction (in comparison with traditional powders) and elastic aftereffect compacts. The more complicated the compact shape is, the more difficult it is to assure a uniform density distribution throughout the volume.

The high sorption ability of nanopowders is an important factor for pressing of nanopowders and sintering of nanoceramics with minimum values of porosity and content of impurities. The number of physical and chemical sorbed gases in nanopowders can reach 20%.

1 Features of pressing nanopowders

High surface activity of nanopowders due to a large share of surface atoms should lead to higher diffusion coefficient at mechanical activation and sintering, to the reduction of the temperature of effective flow of these processes. In practice there is a problem of preservation of nanostructures compacts before sintering, i.e.

prevention of intensive agglomeration of nanoparticles at high pressures to save centers nucleation before sintering and to prevent growth of grains at sintering.

For ultrafine nanopowders even more difficult task is to achieve uniform density of compacts of the given form and prevention of formation in compacts of macro defects from internal tensions in due to high elastic aftereffect that it is especially characteristic of rigid ceramic nanopowders.

The dispersion of powders exerts much more influence on pellets than their physical and mechanical properties. For example, in finely dispersed condition powders of plastic nickel and brittle silicon nitride are pressed almost identically, despite the differences of their properties. However, the nanopowder type is essential for describing the process of pressing them and developing optimal methods of compacting.

To obtain a powder press with evenly distributed density, which will be well sintered, there must be sufficient pressure to redistribute the particles in the pellet to a sufficiently high density. Since there is a huge number of nanoscale particles in a single volume, there is a significant resistance of sliding friction associated with a large number of interfractional contacts. In addition, nanoceramic powders usually contain solid agglomerates (strongly related particles) that require destruction before redistribution in the process of pressing.

Pressure from 1 to 9 GPa is necessary to make a sample of sufficient density and with nanocrystalline sizes of grain. This pressure is the limit for structural materials presses and moulds, and as a result of these limitations the method of traditional static pressing of nanopowders allows producing only 1 cm diameter pellet, up to a height of 1-2 mm. Therefore, many early studies of nanocrystalline ceramics not able to get enough of dense samples. It had been received only porous nanoceramics with low values of hardness and strength. High values of the coefficients of diffusion in such samples were obtained because porosity enables bulk diffusion occur on many internal channels and associated surfaces as long.

Nanoparticles have the ability of agglomeration and high sorption activity; interaction between particles and friction when pressing such materials significantly

above, and apparent density lower than for conventional powders. Therefore, the traditional methods of pressing nanomaterials do not provide a uniform density in all volume of pellets (especially in the case of complex geometry) which leads to the local density gradients in granules, high internal strains, and as a result to the formation of defects or destruction of the granules. In connection with the specified characteristics of nanomaterials the development of special techniques is required for their compacting.

The dependence of the density on compaction pressure may be described by compaction equation of the logarithmic type

$$\rho = b \cdot \ln P + a, \quad (1)$$

where ρ is the relative density (% of the theoretical density);

$P = P_0/P_{cr}$ is the relative compaction pressure, where P_0 is the compaction pressure and P_{cr} is the critical pressure at which the theoretical density is achieved; and a is constant.

The constant a is defined as the relative density at the critical compaction pressure $P_0 = P_{cr}$. Thus a is the theoretical density of compacted material taking into account all its chemical and physical components $a = 1$.

The coefficient b characterizes the densification rate of the powder body $d\rho/dP_0$.

The problems associated with control of the pressure and density distributions in the powder compact during compression are universal almost for any powder compaction technologies. The distribution of the vertical pressure along the height h of the cylindrical die of radius R during single compression action at pressure P_0 is described by the equation:

$$P(h) = P_0 \cdot \exp\left(-2\xi f \frac{h}{R}\right). \quad (2)$$

This equation is derived assuming the product of the die wall friction coefficient f by the lateral stress coefficient ξ to be constant (in some studies it is also termed as a hydrostatic coefficient and is equal to the ratio of the mean values of the radial stress to the axial stress). It follows from equation (2) that in absence of the

external friction (i.e. $f = 0$) the compaction stress is completely transmitted to the remote layers of the green compact, whereas compaction pressure is partially lost in the presence of the external friction forces (i.e. $f \neq 0$).

Using equations (1) and (2), the differential of the relative density along the pressing direction (cylinder length/height) may be defined as:

$$\Delta\rho = 2b\xi f \frac{h}{R}. \quad (3)$$

Thus, the density differential depends on the values of the die wall friction coefficient and the lateral pressure as well as the die aspect ratio (height/hydraulic radius ratio). According to the compaction equations (2) and (3), the main causes for the non-uniform density distribution throughout the powder compact in closed rigid die are the frictional processes. These frictional forces and effects manifest themselves to a greater extent in the nanopowders with high specific surface area than in coarse grain powders. Uniformity of the density distribution along the pressing axis is mainly determined by the die wall friction forces, whereas the powder ability to lateral move across the pressing axis is determined by the hydrostatic coefficient ξ . The latter depends on the powder particle plasticity and interparticle frictional processes.

A satisfactory uniformity in the density distribution in the moulded volume of the powder compact may be achieved by elimination of the die wall friction effects. This problem is partially solved by application of appropriate amounts of lubricants, plasticisers and binders (die pressing, slip casting, injection moulding, etc.), under conditions of plastic flow or at increased temperatures. However, these approaches necessitate burn-out of the introduced impurity components during the sintering and costly non-durable dies for hot pressing.

A different approach for elimination of the die wall frictional forces is introduced here for dry compaction of poly- and nanodisperse powders, which allows pressing into complex shape compacts, however, with uniform density distribution in the bulk.

2 Compaction modes

In most cases, new methods are modified ways of compacting of powders, physico-chemical modes of which are optimized: compacting pressure and/or sintering, temperature, time (speed), type of atmosphere (vacuum, inert or chemically active gases). There are also methods that use the specific properties of powders – superplasticity at lower temperatures, metastability of structural-phase condition, the physical properties of the correlation with the size of nanoparticles.

The compaction methods using specific properties of nanopowders include:

- superplastic forming in the specified form;
- consolidation with phase transformation;
- dry ultrasonic compacting.

All methods should be provided for compacting the following special conditions for nanopowders:

- disaggregation of nanopowders after storage;
- deleting a significant amount of adsorbates on any of stages of technology;
- accounting, compensation or reduction of high interparticle and near-wall friction, elastic aftereffect when compacting nanopowders;
- prevention of intensive coagulation of particles in the compact (requires a high coherence of particles at a low degree of plastic deformation in interparticle contacts). Not always useful is the high density of a compact of nanopowders before sintering;
- control of pore sizes and distribution of pores in the volume of a compact before and during the sintering process.

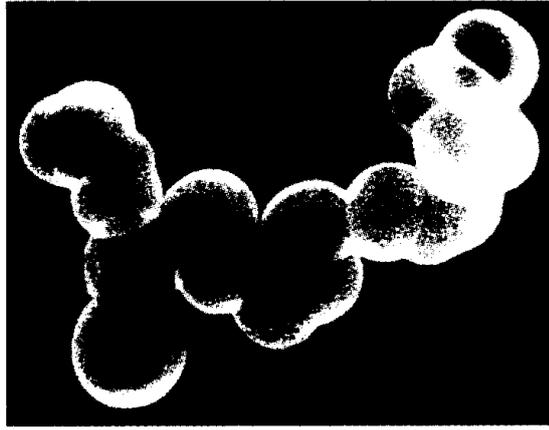


Figure 1 – Carbon black aggregate

It is known that nanopowders are poorly compressed due to the sharp growth of interparticle adhesion forces with decreasing particle size. Therefore, traditional methods of static pressing do not lead to a sufficiently high density of nanoceramic compacts. Furthermore, in practice, the problem arises of the preservation of nanostructural compact before sintering, i.e. to prevent intense agglomerations of nanoparticles under high pressures. Moreover, uniform density is difficult to achieve for pulverulent ultrafine nanopowders. Macrodefects occur in granules due to the presence of internal stresses.

The conventional powder compacting models can not be successfully applied to the simulation of nanoparticle compacting for several reasons:

- application of new or different mechanisms;
- agglomeration of nanopowders into clusters;
- ensembles of nanoparticles have large surface areas, making them highly susceptible to impurities compared to a large-sized powder;
- low density and low stability of dislocations due to the small size of nanoparticles;
- other factors, such as diffusion-stimulated grain-boundary migration, rotation, energy-stimulating of boundaries, could change the compaction mechanisms.

2.1 Cold static pressing in closed molds

Cold static pressing in closed molds is relatively simple in technological realization and universal for pressing products of various shapes from powders of any composition. Therefore, this method is fairly widespread. Figure 2.1 shows a typical scheme of cold pressing.

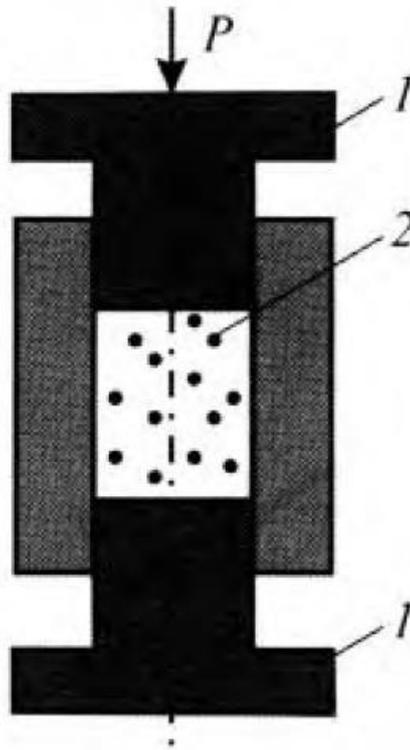


Figure 2 – Cold static pressing: 1 – punch, 2 – powder

Disadvantages of this method are associated with uneven distribution of properties molded products by volume. Friction of the compressible material against the wall of the form leads to anisotropy and non-uniformity of product properties in different directions, which could be a source of macrodefects in the sintered products.

The compaction of a powder body in the process of such pressing can be described by equations of logarithmic, power or exponential type, depending on the compaction models used - continuous, discrete models of finite or boundary elements.

Special oils and plasticizer can reduce the influence of frictional forces. The use of plasticizers allows you to evenly distribute the product density and increase the

service life of moulds, however, is the source of the material pollution, or the residual porosity during sintering, complicating production technology.

The reason for the density difference of the compacts in height is the loss of the pressing force to overcome the friction forces, which are significant for nanopowders with a developed specific surface (of the order of 10-100 m²/g).

An effective way to reduce frictional forces without the injection of foreign material into the pressing nanopowder is the application of vibrations.

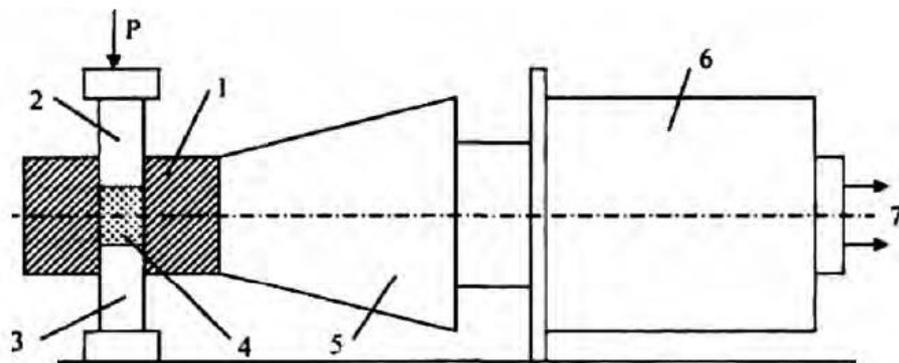


Figure 3 – Equipment for dry pressing of powders under ultrasonic action: 1 – matrix with punches (2, 3), 4 – powder, 5 – ultrasonic concentrator, 6 – magnetostrictive transducer with resonant frequency of 21 kHz, connected with 7–ultrasonic generator

In addition to increasing the uniformity of density distribution in the volume of the compact and decreasing the internal tensions of the microstructure, the oscillations allow mechanoactivating the particles of the compressible nanopowder by the mechanism of the acoustoplastic effect and disaggregating the agglomerates, similar to intensive grinding in high-energy activators. Due to the intensive damping of oscillations in the powder body, significant nonlinearity of the effects of ultrasonic extension in the powder material of variable density, the theory and practice of dry pressing of powders under ultrasonic influence were not developed enough.

2.2 Hot pressing

The method of hot pressing provides the receipt of ceramic products with a small difference in density by volume. Figure 4 presents the basic hot-pressing schemes.

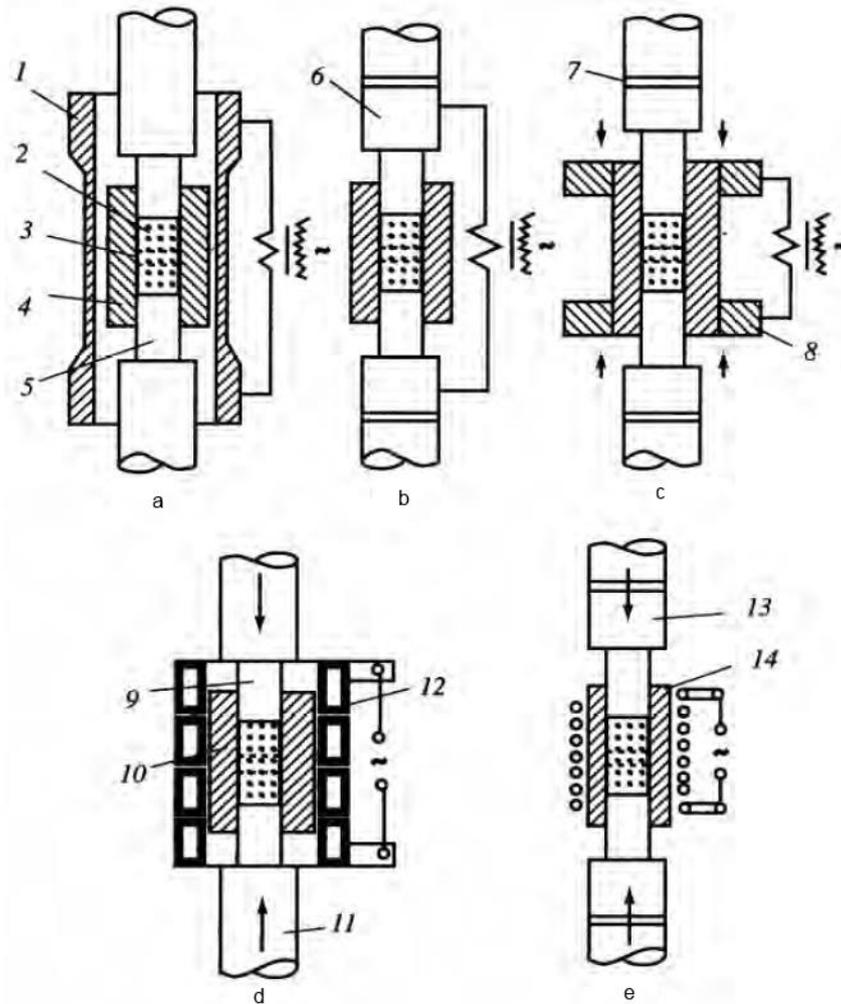


Figure 4 – Scheme of two-sided hot pressing in molds in combination with heating methods: a – indirect resistance heating; b – direct resistance heating at the current supply to the punch; c – direct resistance heating at the current supply to the matrix; d – induction heating of the conductive graphite matrix; e – induction heating of the powder in a non-conductive mold. 1 - heater, 2 - powder, 3 - sintered product, 4 - matrix, 5,6 - punch, 7 - insulation, 8 - graphite or copper contact, 9 - graphite punch, 10 - graphite matrix, 11 - ceramic, 12 - inductor, 13 - ceramic punch, 14 - ceramic matrix

The advantage of the hot pressing method is the good strength characteristics of the products obtained, the minimum deviations in the dimensions of the blanks, the reduction in the sintering time, since the pressing and sintering processes are combined.

The disadvantage of this method is the rapid wear of the molds, the low productivity of the process. In addition, the ceramic ferroelectrics obtained by hot pressing, in comparison with conventional roasting, deteriorate performance due to the presence of residual stresses and stoichiometry disturbance. After hot pressing of some types of electroceramics, its strength and macrostructural characteristics are improved, however, ferroelectric and ferromagnetic properties deteriorate.

2.3 Isostatic and quasi-isostatic pressing

Currently, the isostatic pressing technique in which pressure is applied to the press-powder isostatically, i.e. equally in all directions, has gained wide acceptance in the production of ceramic components, in the treatment of graphite and metallic powders, abrasive materials and, specifically, in the production of refractory materials. As the pressurizing medium, a range of materials — liquid, inert gas, molten metal, glass, or graphite (hot isostatic pressing) — can be used.

In practice, hydrostatic pressing has been the most popular technique. Using this technique, one can mold components of any size and of high and uniform density. Still, hydrostatic pressing, for all its benefits, suffers from shortcomings that pose problems for its wider uses in the domestic industry. For example, the hydrostatic pressing method requires the support of an arsenal of auxiliary facilities: a hydrostat made of high-strength steels, hydraulic pumps, a vessel for keeping the pressurizing liquid, a quite intricate system of high-pressure pipelines, and a sizeable amount of measuring instrumentation. All this requires large production areas and rather high capital costs. Because of the large mass of the isostat and the sealing joints in pipelines, the vibratory compaction of the powder transferred to the isostat is difficult (if possible altogether) to perform. Usually, the vibratory operation is done

outside the isostat, which results in a sharp decrease of productivity of the process. Furthermore, problems arise with vacuum degassing of the press-powder during pressing.

Another form of compression molding is compaction under the action of a gas (helium, argon, etc.), which is called gasostatic. In most cases such pressing is not subjected to powder, but to pre-obtained billets.

In recent years, a simple technique, the quasi-isostatic pressing, has been developed, which is based on the use of standard hydraulic or mechanical pressing equipment (available from domestic manufacturers) and press molds which in design, installation, and operational conditions do not differ much from conventional techniques.

The principle of quasi-isostatic pressing is based on the use of an elastic material (synthetic rubber) as the pressurizing medium to convey isostatic uniform pressure. In a ring press mold, the elastic element is a core which shapes the inner cavity of the ring pressed. The elastic element transmits the applied pressure to the powder like a high-viscosity fluid (quasi-liquid), the pressure is isostatically transferred to the entire surface of the compressible product, ensuring its volume reduction. Due to this, the obtained products have almost the same density in any cross section. However, some density difference in such products is still observed from the periphery to the center, and is due to the fact that the peripheral layers compact more quickly and prevent the transfer of the pressure inside.

A variant of the press mold for quasi-isostatic pressing is shown in Fig. 5. The press mold is composed of a floating steel die 1, an elastic element, press buffer 2, a cavity 3 (which is filled with press powder), a steel punch 4, a pusher 5, and vibrators 6.

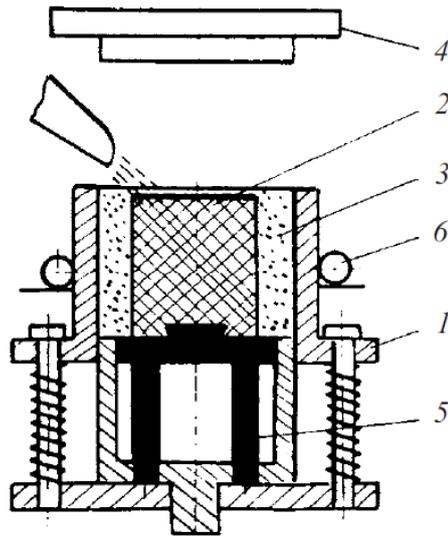


Figure 5 – Scheme of a press mold for quasi-isostatic pressing

The powder is pressed by means of the top punch which conveys pressure to the powder and to the elastic press-buffer. The punch as it moves downwards, provides, assisted by the floating die, two-sided compression along the vertical axis. The elastic press-buffer, subjected to pressure, behaves as a high-viscosity pressurizing fluid (quasi-fluid). It contracts lengthwise and expands sidewise (in the diametrical direction), which makes the powder compact in the horizontal direction. Thereby volumetric compaction is effected and a uniform density is attained over the entire volume of the component processed.

Attempts were made to develop a technology for volumetric triaxial compaction of powdered materials. The major goal was to replace the sophisticated technology of isostatic pressing by a simpler one and thus to save production areas and capital costs.

Thus, a volumetric compaction technique was proposed in which pressure was exerted on a metal press mold designed as a cylinder with three through-the-wall holes perpendicular to the axis and convergent at the center. Three hydraulic cylinders exerted pressure on punches that were inserted in the holes. This three-sided compaction technique made it possible to prepare components with improved characteristics; however, because of its rather high complexity and the need for skilled servicing, this method did not find industrial use.

Data have been reported in the literature on the use of elastic materials for developing volumetric compaction techniques. Much later, attempts were made to develop gel-assisted techniques for compaction of metal powders. The major problem here was that the molded components were prone to failure. The reason for this shortcoming could not be established, and finally this route was abandoned.

A range of elastic materials were tested for use as the pressurizing medium: technical gelatin, agar-agar, paraffin, wax, epoxy resins and compositions based on natural rubber. However, these materials lacked sufficient strength, were prone to infiltrate into pores of the material, and showed undesirable adhesiveness, which required additional cleaning operations.

Significant shortcomings of isostatic pressing are labor of manufacture of elastic moulds, impossibility of its automation and application of the multilocal pressing scheme at mass production, maintenance of the given sizes of briquettes (especially in the manufacture of complex moulds). These methods are used for the production of simple form products with their subsequent mechanical processing.

2.4 Pressing at powerful ultrasonic action

Intensive mechanical ultrasonic vibrations of the shape forming surfaces can decrease the negative effect of the die wall friction with no lubricants. It can be achieved when in the friction pair of 'die wall-green body' the surface of the powder particles will periodically detach from that of the wall and the friction forces will operate only when the surfaces are in contact. Thus, the die wall friction coefficient will decrease in proportion to the time periods of attachment and detachment. The ultrasonic action also decreases the interparticle friction forces, which is important for increasing the green packing density. Moreover, a high power ultrasonic action provides the conditions for deagglomeration and mechanoactivation of the NPs during compaction immediate to the sintering.

There are commonly used methods of cavitation ultrasonic action for dispersing NP agglomerates in liquid phase suspensions. However, the possibility of

direct acoustic activation to the NP without an intervening medium is of great interest.

Ultrasonic action during uniaxial compaction of the powder compact is implemented in a die joined with a resonance size acoustic waveguide (Fig. 6).

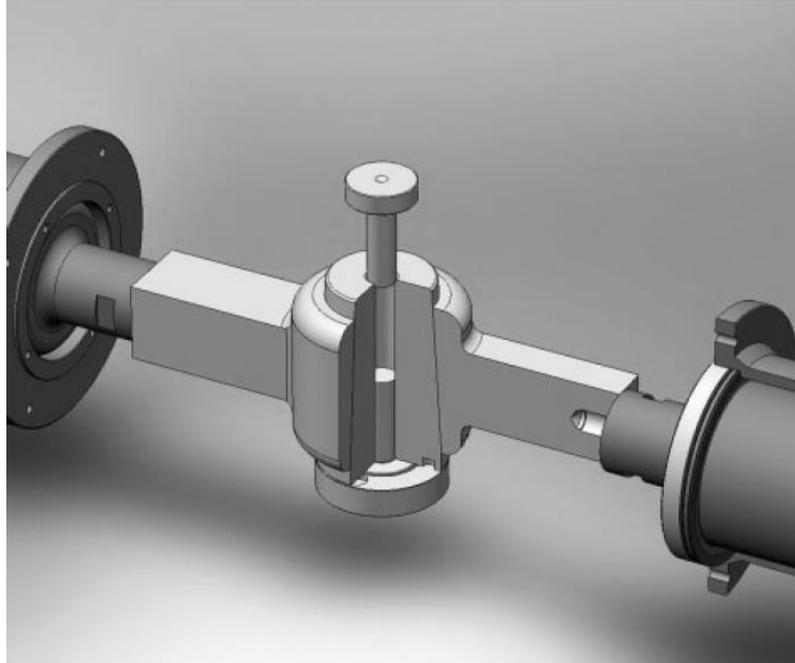


Figure 6 – Ultrasonic die for compacting powders

A standing wave (resonance) is induced within the die with maximum amplitude in the green compact forming region. Using the known approaches to describe the matter treatment by the powerful ultrasound, the main parameters of the ultrasonic action on the powder during the compaction can be calculated; these include the vibratory velocity of the particle displacement, the sound pressure amplitude within the compaction zone, the ultrasonic vibration intensity, acoustic speed, acoustic impedance, attenuation coefficient and the elastic modulus of the powder medium.

There are no acoustic flows within the powder compact, the vibration parameters are optimal for dense packing in the NP and agglomerate green compacts when their vibration displacement under ultrasonic action is comparable with their average size. However, during the process by which the green density increases under the compaction pressure, the acoustic properties of the powder medium change, while the ultrasonic treatment is carried out at a strictly fixed resonance frequency. As the

powder body density gradually increases from a tap density (i.e. the freely die filled state of the powder) to the pressed density, quasiresonance conditions arise at various green compact regions. Under these conditions, the ultrasonic amplitude is comparable to the average NP size or to their agglomerate size, while the resonance frequency of the agglomerate group or the entire green compact coincides or becomes a divisible with the ultrasonic frequency. It should be noted that at the stage of die fill (apparent) density a uniform NP packing occurs, whereas minimum gradients of residual mechanical stresses are achieved at the later stages of densification.

2.5 Method of ‘collector pressing’

Another approach of controlling the density distribution in the powder subjected to pressing is partial redistribution of the direction of the operating die wall frictional forces. This approach can be implemented if the lateral shape forming surface is divided along the pressing axis into several parts, which move in various directions relative to the powder compact. This technique is implemented in the collector method of pressing. The kinematic schemes of motion of shape forming surfaces of the conventional and collector dies using, for example, the densification of the powder compact in the form of a cylinder, are considered. The heavy lines in the schemes of the powder densification denote the loci of the mobile mating of oppositely directed parts of the common shape forming surface.

From the scheme of static uniaxial single action pressing (Fig. 7(I)) it is seen that the value of the powder movement, the die wall frictional forces and the densification degree are maximum in the powder compact at regions beside the line of conjugation of the punch and the internal surface of the die, along the contour of the circumference $A'B'C'D'$. On the contrary, the degree of powder densification is minimal at the loci of the immobile conjugation of the lower punch and the internal surface of the die (along the circumference contour $ABCD$). At half the distance between the punches, the average density value in the green compact cross-section

abcd is close to the average density of the entire green compact. In this scheme the compact density distribution can be uniform only when full density is achieved.

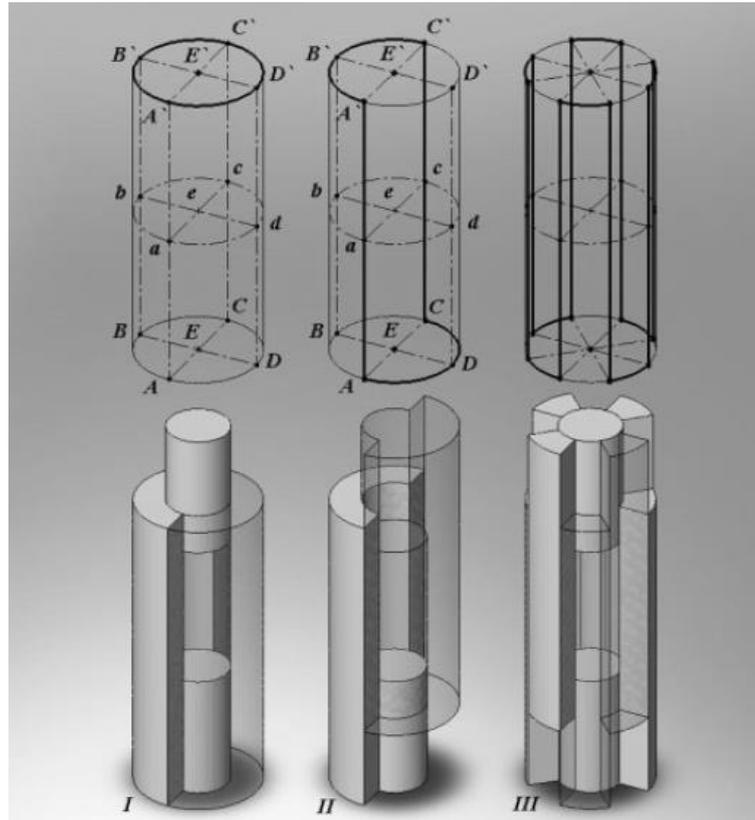


Figure 7 – Schemes of conventional and collector pressing of dry powder

The density gradient $\Delta\rho$ along the pressing EeE' axis (the central part in Fig. 7(I)) is always lower than that near the walls (along the AaA' line) due to die wall frictional forces. The value of the average density $\bar{\rho}$ along given vertical axis is equal at any time during pressing:

$$\Delta\rho_{AA'} \geq \Delta\rho_{EE'}, \quad (4)$$

$$\bar{\rho}_{AA'} = \bar{\rho}_{EE'} = \bar{\rho}_{CC'}. \quad (5)$$

In the scheme of collector pressing (Fig. 7(II)) the vertical movement of the powder and the die wall frictional forces are close to zero at regions in the powder compact beside the line of the mobile conjugation ($A'aA$ and $C'cC$) (left to the line in the region of points A and C). On the right of points A and C , the above values are maximal. In the region near the points A' and C' the pattern is reversed. Therefore, at any point within the compact, beside the above lines ($A'aA$ and $C'cC$) the values of displacement, die wall frictional forces and the densification degree will be equal to the mean value of the corresponding parameter in the opposite side of the conjugation

lines. Therefore, the powder densification degree is identical at the regions located along the line where the parts of the passive shape forming surface ($A'aA$ and $C'cC$) join together. According to equations (4) and (5), any point in the cross-section plane bound by the contour $A'ACC'$ exhibits similar densification degree and compact density, equal to the average value in the green compact volume.

In the planar sections equidistant from the regions of joining parts of the shape forming surface (Fig. 7(II), the plane $BB'D'D$), the density distribution must obey the classical concepts of the parameter inversion in the region of the pressing axis of symmetry $E'eE$ along which the powder body density distributed uniformly. That is, in the location of the counter moving active and passive parts of the shape forming surfaces (point B' and D) an intensive powder densification will occur. However, in the location of their immovable joint (point B and D') the densification degree will be minimum.

In the case of the collector compaction, the value of the density gradient along the cylinder height will be:

$$\Delta\rho = b(\Pi'f' - \Pi''f'')\xi \frac{h}{S_0}. \quad (6)$$

The distribution of the vertical pressure and density along the pressing axis depends on the hydrostatic coefficient and the pressing geometric parameters as well as the ratio of the frictional forces at the opposite directed parts of the lateral shape forming surface. No compaction pressure gradients exist along the pressing axis if the oppositely moving parts of the common hydraulic perimeter are equal ($\Pi' = \Pi''$) and the conditions of the die wall friction on these surfaces are similar ($f' = f''$).

In the green compact regions beside the lines $A'aA$ and $C'cC$ horizontal mass transfer takes place due to the presence of the density gradient at both sides of the line. The powder mass transfer within the green compact will result in changes in the density distribution of the powder compact. However, for large number of parts of the passive shape forming surface moving relative to the powder compact (Fig. 7(III)) the regions of increased and reduced density will pass close to each other, through the regions of vertical sections with an average density. The nearer the regions with

different densification character, the easier the mass transfer between them is the more often they will alternate.

Therefore, the differently oriented die wall frictional forces in the collector method contribute to self-levelling of the green density distribution within the powder compact volume via densification process of a powder material.

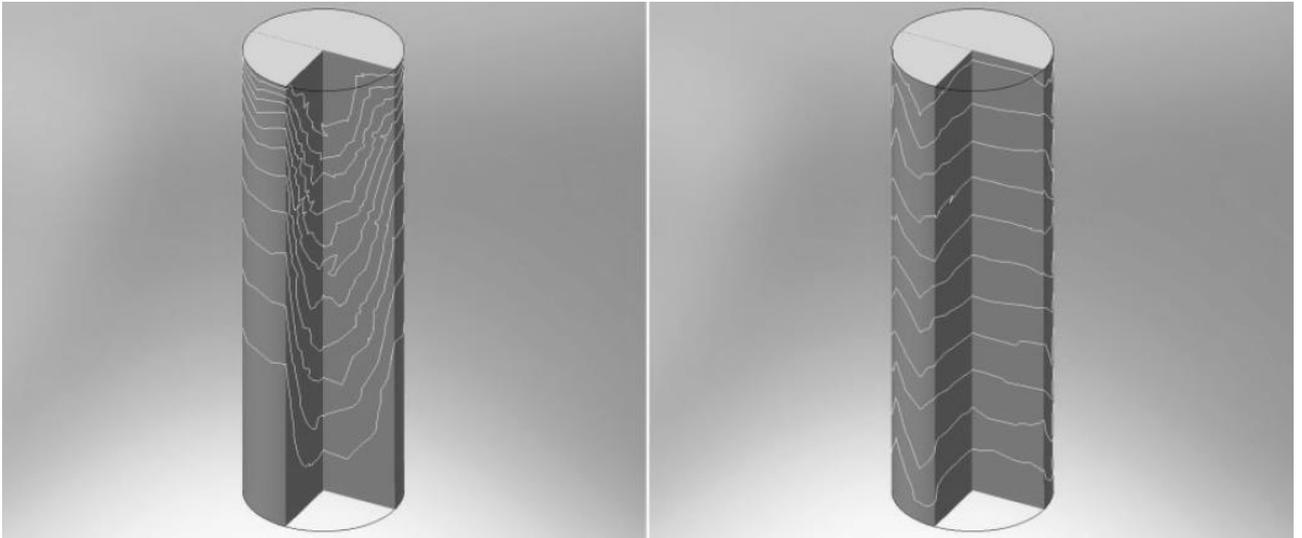
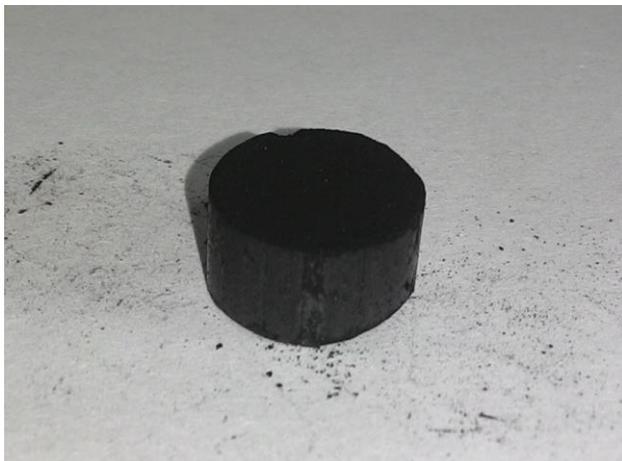


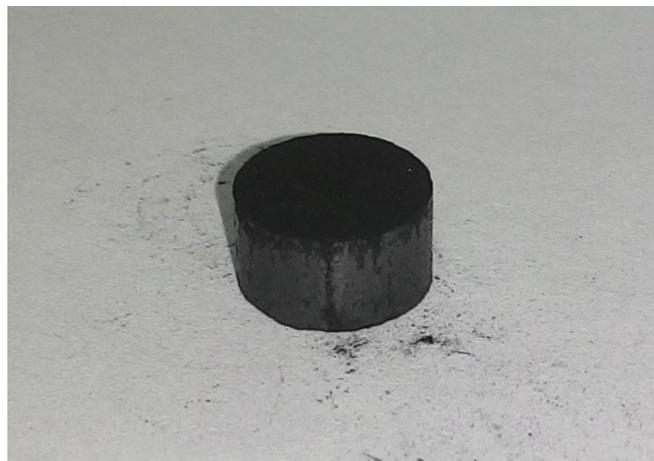
Figure 8 – Deformation model of layers of cylindrical powder compact under conditions of die wall friction

Приложение Б

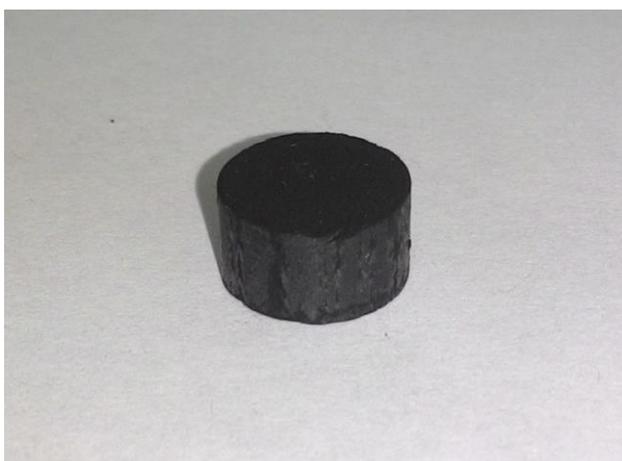
Фотографии таблеток на основе углерода, изготовленные при различных условиях прессования



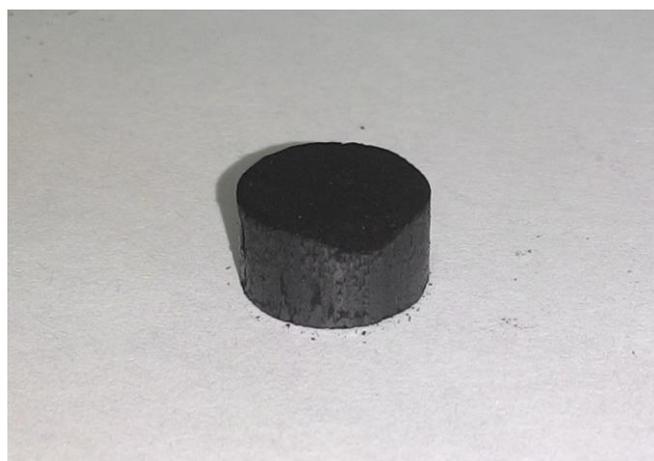
Углерод, 10 МПа, 5 минут



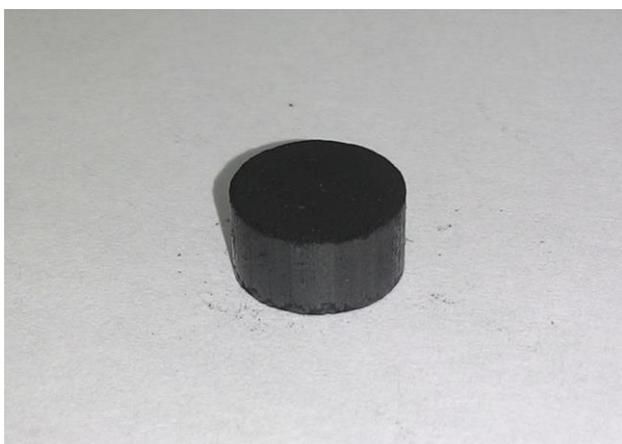
Углерод, 10 МПа, 10 минут



Углерод, 10 МПа, 20 минут



Углерод, 10 МПа, 30 минут



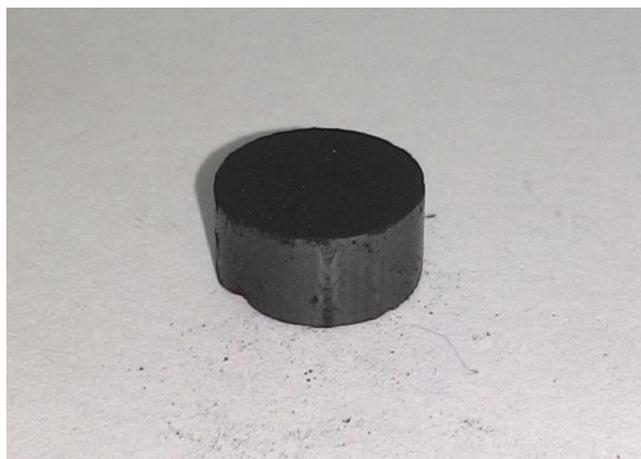
Углерод, 20 МПа, 5 минут



Углерод, 20 МПа, 10 минут



Углерод, 20 МПа, 20 минут



Углерод, 20 МПа, 30 минут



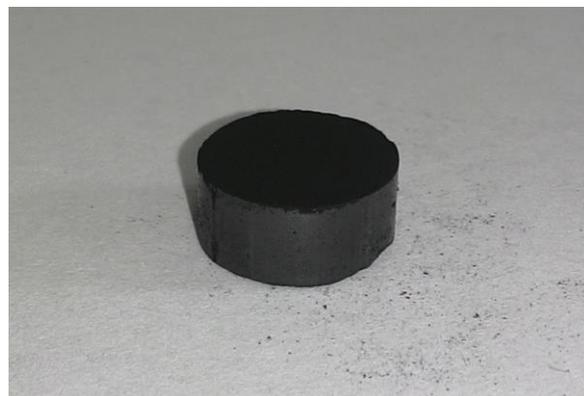
Углерод, 40 МПа, 5 минут



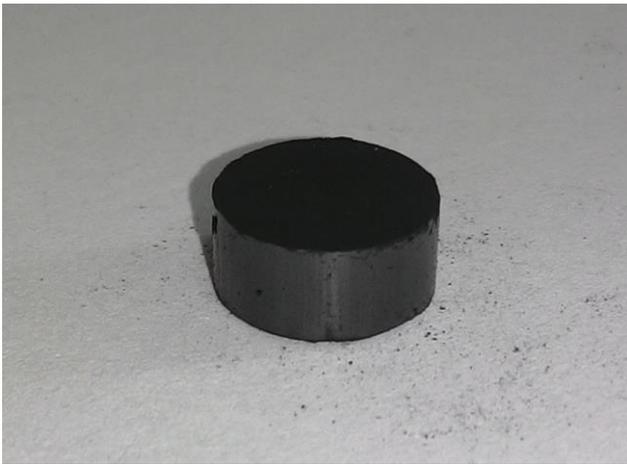
Углерод, 40 МПа, 10 минут



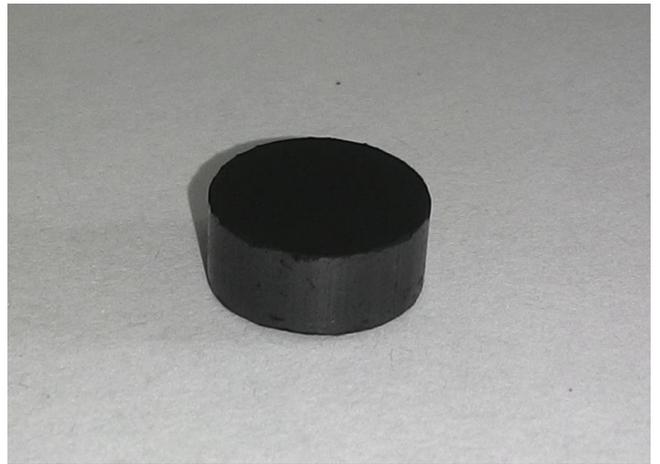
Углерод, 40 МПа, 20 минут



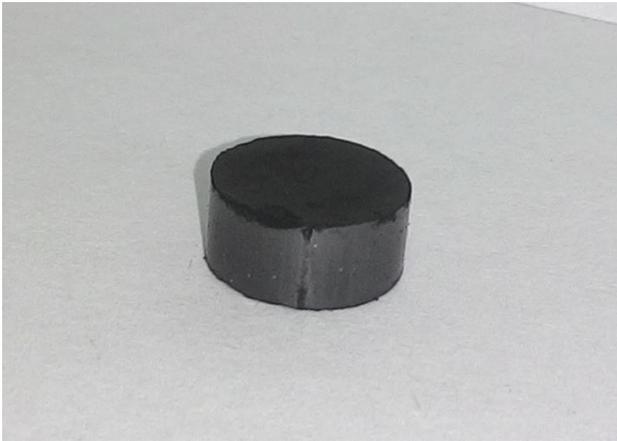
Углерод, 40 МПа, 30 минут



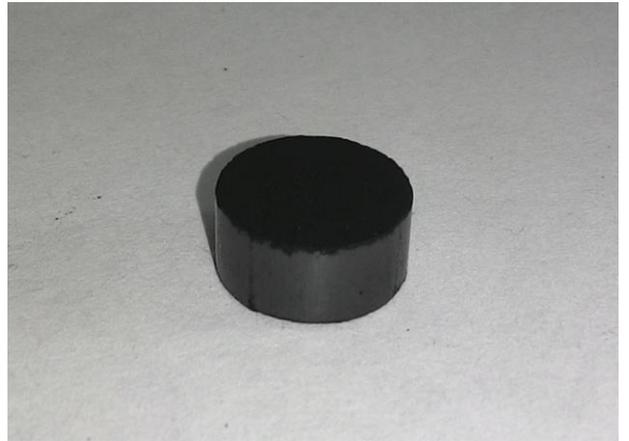
Углерод, 60 МПа, 5 минут



Углерод, 60 МПа, 10 минут



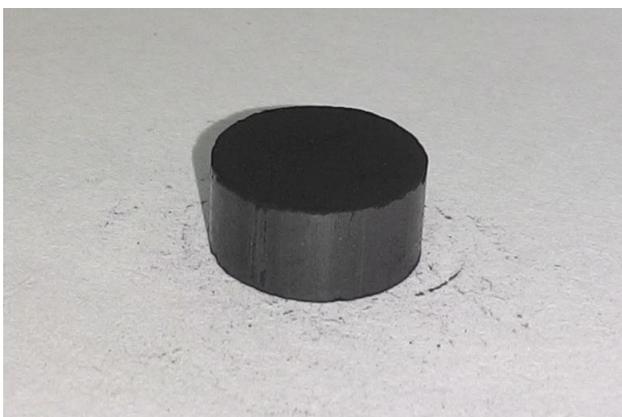
Углерод, 60 МПа, 20 минут



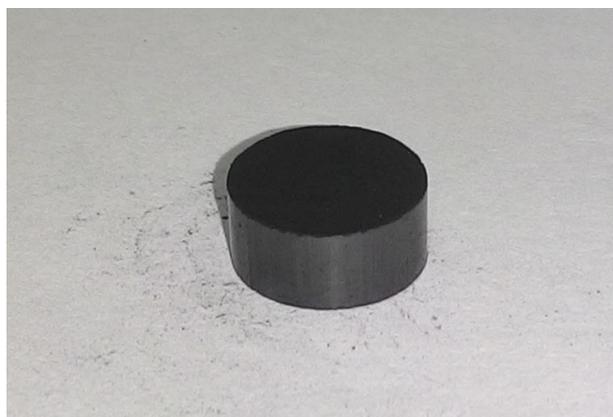
Углерод, 60 МПа, 30 минут

Приложение В

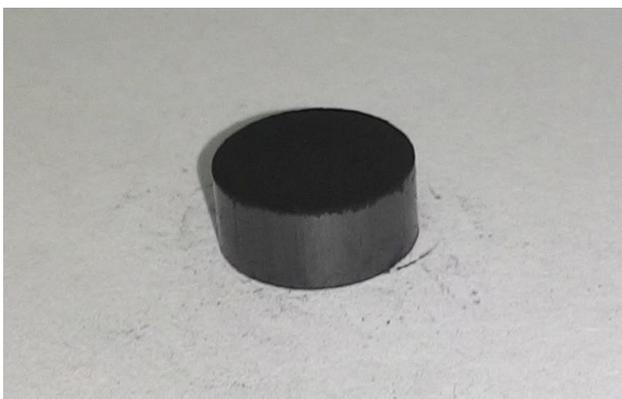
Фотографии таблеток на основе смесей углерода и пластификаторов, изготовленные при различных условиях прессования



Состав №2, 20 МПа



Состав №2, 40 МПа



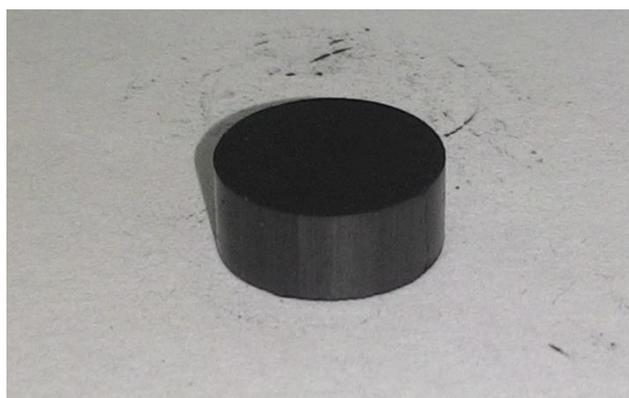
Состав №2, 60 МПа



Состав №3, 20 МПа



Состав №3, 40 МПа



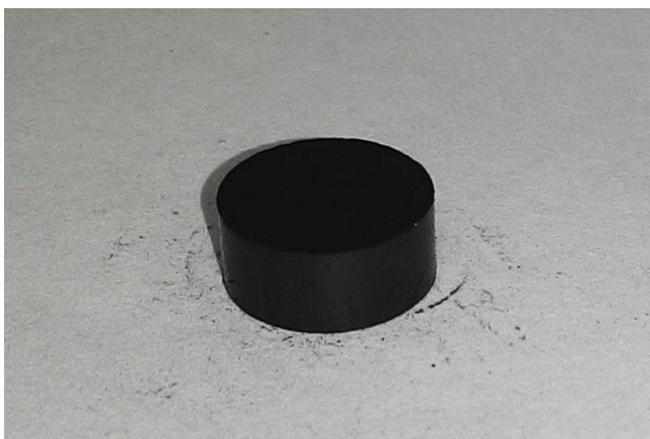
Состав №3, 60 МПа



Состав №4, 20 МПа



Состав №4, 40 МПа



Состав №4, 60 МПа



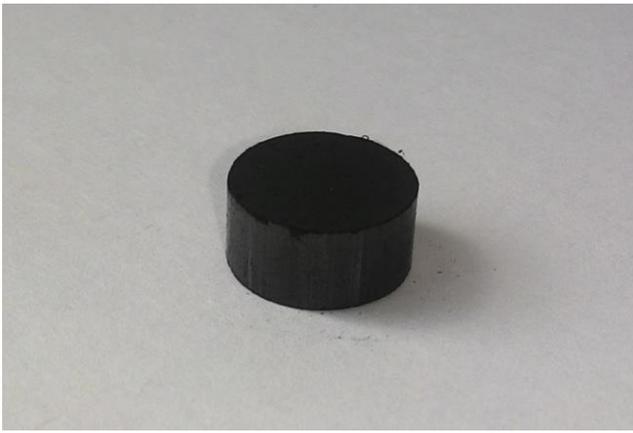
Состав №5, 20 МПа



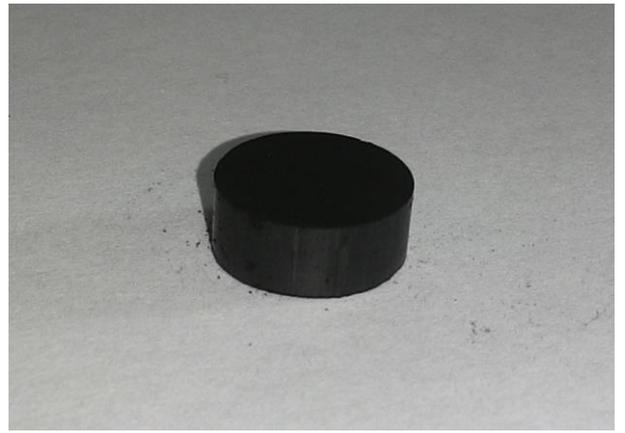
Состав №5, 40 МПа



Состав №5, 60 МПа



Состав №6, 20 МПа



Состав №6, 40 МПа



Состав №6, 60 МПа



Состав №7, 20 МПа



Состав №7, 40 МПа



Состав №7, 60 МПа

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018611288

Расчет массы адсорбированного газа

Правообладатели: **Видяев Дмитрий Геннадьевич (RU), Савостиков Дмитрий Викторович (RU), Борецкий Евгений Александрович (RU)**

Авторы: **Видяев Дмитрий Геннадьевич (RU), Борецкий Евгений Александрович (RU), Савостиков Дмитрий Викторович (RU)**

Заявка № 2017661278

Дата поступления 30 октября 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 01 февраля 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015661383

Расчет кинетических параметров термодесорбции

Правообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (RU)*

Авторы: *Видяев Дмитрий Геннадьевич (RU), Савостиков Дмитрий Викторович (RU), Борецкий Евгений Александрович (RU)*



Заявка № 2015618040

Дата поступления 02 сентября 2015 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 27 октября 2015 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



ДИПЛОМ

Бронзовой медалью “За заслуги перед Томским политехническим университетом” награждается

**Борецкий
Евгений Александрович,**

*студент гр. 0А2Д
Физико-технического института
Национального исследовательского
Томского политехнического университета.*

Ректор
Томского
политехнического
университета



П.С.Чубик

2016 г.



ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
малых форм предпринимательства в научно-технической сфере

ДИПЛОМ

победителя программы «УМНИК»

Борейского

Борейня

Александровича

Председатель Наблюдательного совета

И.М. Бортник

Генеральный директор

С.Г. Поляков





УДОСТОВЕРЕНИЕ

**БОРЕЦКИЙ
ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**НАГРАЖДЕН
ЗНАКОМ
«БУДУЩЕЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ»**

Губернатор
Томской области



Распоряжение Губернатора Томской области

от 15.12.2017 № 466-р-н

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Диплом

НАГРАЖДАЕТСЯ

Борецкий Евгений Александрович,

магистрант группы ОАМ63
Физико-технического института,
лауреат XIX Университетского конкурса
на соискание звания «Лучший студент
Томского политехнического университета»
в 2017 году



Ректор университета



П.С. Чубик

*г. Томск
Июнь 2017*

ДИПЛОМ

III степени

НАГРАЖДАЕТСЯ

Борецкий Евгений Александрович

*студент группы ОАМБА
инженерной школы ядерных технологий
Томского политехнического университета*

*за доклад «Перспективы использования соединений черных
металлов в качестве вспомогательных веществ для
таблетирования технического углерода»,
представленный на
IV Международной научной конференции молодых ученых,
аспирантов и студентов
«Изотопы: технологии, материалы и применение»*

30 октября – 3 ноября 2017 г.



ДИПЛОМ

III СТЕПЕНИ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Борецкий Евгений Александрович

магистранта группы ОАМ63

Физико-технического института

Томского политехнического университета

за доклад «*Математическое описание переноса молекул водорода в
поры наноструктурных материалов*»,

представленный на

III Международной научной конференции молодых ученых,

аспирантов и студентов

«*Изотопы: технологии, материалы и применение*»

19-23 сентября 2016 г.

г. Томск


**ЧУБИК
Петр Савельевич**
Ректор Томского
политехнического
университета



Диплом

финалиста

награждается

**Борецкий
Евгений
Александрович**

Томский политехнический университет

за участие в мероприятиях
Сибирской академической недели
3 - 7 сентября 2016 года, г.Томск



Чубик Петр Савельевич
РЕКТОР ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



Российская Академия Наук



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



СИБИРСКАЯ
АКАДЕМИЧЕСКАЯ
НЕДЕЛЯ

ДИПЛОМ

III степени

награждается

БОРЕЦКИЙ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

магистрант

Физико-технического института
Томского политехнического университета

за победу в I (заочном) туре Всероссийского конкурса
научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВУЗов
и научных академических институтов России
по естественным, техническим и гуманитарным наукам
«ШАГ В НАУКУ»,
представивший НИР «Сорбция водорода
наноструктурными углеродными материалами»
по направлению «Перспективные технологии ядерной энергетики»

30 мая – 15 сентября 2016 г.
г. Томск



**ЧУБИК
Пётр Савельевич**

Ректор Томского
политехнического
университета





Администрация
Томской области



АГЕНТСТВО
СТРАТЕГИЧЕСКИХ
ИНИЦИАТИВ



Министерство
образования и науки
Российской Федерации



Координационный Совет
по делам молодежи в научной
и образовательной сферах при Совете
при Президенте Российской Федерации
по науке и образованию



ГАЗПРОМБАНК
Банк ПБ (АО)



ТАСС
Информационное
агентство России



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



IV ФОРУМ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ТОМСК 2017

Администрация Томской области
Агентство стратегических инициатив

СЕРТИФИКАТ

УЧАСТНИКА

Данный сертификат подтверждает, что

Борецкий Евгений Александрович

Прошел (ла) отбор из 600 претендентов и принял (а) участие в
Научно-технологической проектной сессии
«Совместные инициативы молодых ученых и бизнес-сообщества
как инструмент реализации целей стратегии научно-технологического развития России
и Национальной технологической инициативы»

Директор направления "Молодые профессионалы"
Агентства стратегических инициатив
по продвижению новых проектов

Д.Н. Песков

Заместитель Губернатора Томской области
по научно-образовательному комплексу
и инновационной политике

М.А. Сонькин



СЕРТИФИКАТ

БОРЕЦКИЙ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ЯВЛЯЕТСЯ ЛАУРЕАТОМ ИМЕННОЙ СТИПЕНДИИ
МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ГОРОД ТОМСК»
2-ОЙ СТЕПЕНИ В НОМИНАЦИИ
«ДОСТИЖЕНИЯ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
НА 2016-2017 УЧЕБНЫЙ ГОД

Мэр Города Томска

И. Г. Кляйн



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ФОНД
ЦЕЛЕВОГО
КАПИТАЛА
ТПУ

Настоящим подтверждается, что
Борецкий Евгений Александрович
является лауреатом

СТИПЕНДИИ
имени академика
В.А. Глухих

2017 года

Ректор Национального исследовательского
Томского политехнического университета



П.С. Чубик



ДИПЛОМ

награждается

**Евгений Александрович
Борецкий**

победитель конкурса на соискание
корпоративных стипендий АО "Концерн Росэнергоатом"
в 2016/2017 учебном году

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

Первый заместитель
Генерального директора
по корпоративным функциям



Д.Л. Ткебучава



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о присуждении
стипендии АО «СХК»

Борецкому

Евгению Александровичу

За отличную учебу, успехи в научно-исследовательской работе и активное участие в общественной жизни Томского политехнического университета, а также за внесение существенного вклада в укрепление имиджа Сибирского химического комбината и атомной отрасли.

Генеральный директор АО «СХК»



2017 г.

С.Б.Точилин



ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ РОСАТОМА

ТВЭЛ



СИБИРСКИЙ
ХИМИЧЕСКИЙ
КОМБИНАТ

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЗАО Северск