

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Влияние условий фабрикации таблеток на основе углерода на их пористость

УДК 661.666-138.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Акимов В.Н		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Дорофеева Л.И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Акимову Василию Николаевичу

Тема работы:

Влияние условий фабрикации таблеток на основе углерода на их пористость	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22-70/с от 22.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – Давление прессования 20, 50, 100 МПа; – Время выдержки под давлением 10 мин; – Температура нагрева 650 °С.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Проведение обзора и сравнения различных видов топлива, наиболее безопасных и рациональных методов хранения водорода, а также вариантов использования углерода в качестве сорбента; – определение и оценка факторов влияющих на пористость таблеток; – установления оптимальных составов и условий фабрикации углеродных таблеток.

Перечень графического материала	– презентация.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:	Киселева Е.С.
Социальная ответственность	Тимченко С.Н.
Иностранный язык	Шайкина О.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
1 Обзор	
2 Основная часть	
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	
4 Социальная ответственность	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.01.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Акимов Василий Николаевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Акимову Василию Николаевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска; Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.</i>
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта.</i>
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Расчет бюджета научно - технического исследования (НТИ).</i>
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Матрица SWOT 5. Диаграмма Гантта 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Акимов Василий Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Акимову Василию Николаевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Влияние условий фабрикации таблеток на основе углерода на их пористость

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Исследование влияние состава исходных для прессования углеродных смесей, условий прессования и обжига на пористость получаемых таблеток; Область применения – Водородная энергетика.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации; – СанПиН 1.2.3685-21; – ГОСТ 12.1.038-82; – ГОСТ Р12.1.004-91; – ГОСТ 31733-2012; – ГОСТ Р 53682-2009; – Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
<p><i>2. Производственная безопасность:</i></p> <p><i>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов.</i></p> <p><i>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень электромагнитного излучения; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Превышение уровня шума; – Отклонение показателей микроклимата; – Поражение электрическим током; – Механическая опасность; – Получение ожогов.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Наиболее вероятная аварийная ситуация на рабочем месте – пожар; – Также возможны: аварии с электрооборудованием и обнаружение предмета, похожего на взрывное устройство.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Акимов Василий Николаевич		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2020 /2021 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:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.01.2021	Выдача задания	10
14.02.2021	Подбор и изучение материалов по тематике	12
26.02.2021	Разработка календарного плана	7
1.03.2021	Обсуждение литературы	7
15.03.2021	Выбор исходных параметров	9
8.04.2021	Выбор методики проведения эксперимента	11
17.05.2021	Проведение эксперимента и изучение результатов	15
20.05.2021	Оформление расчетно-пояснительной записки	5
21.05.2021	Написание ВКР	6
12.06.2021	Сдача работы	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	Д.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 110 страницы, 16 рисунков, 41 таблица, 39 источника, 16 формул.

Ключевые слова: водородное топливо, технический углерод, пресс-порошок, стеарат натрия, фторопласт, спекание, 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, фторопласт, порошки, получаемые путем смешения углерода и пластификаторов, таблетки, получаемые путем прессования порошков с их дальнейшим нагревом.

Цель работы: определить зависимость пористости таблеток, на основе технического углерода, от состава и условий их получения.

Структура работы: выпускная квалификационная работа состоит из четырех частей. В первой части проведен обзор различных видов топлива, способов хранения водорода, анализ свойств углеродных материалов, используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток; веществ, выступающих в роли пластификаторов при фабрикации углеродных таблеток.

Во второй – представлено описание подготовки пресс-порошков, а также условия фабрикации и свойства полученных таблеток.

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

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

Оглавление

Введение.....	11
1 Обзор	13
1.1 Водород как альтернативный источник энергии.....	13
1.1.1 Основные свойства водорода.....	13
1.1.2 Получение водорода	14
1.1.3 Хранение водорода	17
1.2 Углеродные сорбенты.....	23
1.2.1 Углерод и варианты его использования для сорбции.	23
1.3 Пористость материалов	25
1.3.1 Характеристики пористой структуры	25
1.3.2 Методы исследования пористой структуры.....	29
1.3.3 Особенности и параметры пористой структуры сорбентов на основе углерода.....	31
1.4 Параметры и условия фабрикации таблеток.....	33
1.4.1 Технология фабрикации таблеток	33
1.4.2 Влияние различных добавок на пористость углеродных таблеток	34
1.4.3 Влияние прессования на пористость углеродных таблеток	36
1.4.4 Влияние термической обработки на пористость углеродных таблеток.....	39
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	41
3.2 Анализ конкурентных технических решений	42
3.3 SWOT-анализ.....	45
3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	47
3.5 Инициация проекта	50
3.6 Планирование управления научно-исследовательского проекта	53
3.7 Бюджет научного исследования	57
3.8 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	63
4 Социальная ответственность	65
4.1 Обзор вредных и опасных факторов на производстве	65
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и установке.....	68
4.2.1 Организационные мероприятия.....	68
4.2.2 Организация рабочего места оператора персональной электронно-вычислительной машины	68
4.3 Условия безопасной работы.....	70
4.4 Термическая безопасность при работе с трубчатой печью	72
4.5 Пожарная и взрывная безопасность	73
4.6 Требования техники безопасности во время работы с гидравлическим прессом	74
4.7 Требования безопасности при работе с электрооборудованием.....	76
Список использованных источников	78
Заключение	83
Приложение А	85

Введение

В современном мире предъявляются большие требования к экологичности энергетических систем, с целью снизить выбросы парниковых газов и тем самым противостоять проблеме изменения климата планеты. В частности, рассматривается переход двигателей внутреннего сгорания на новый вид топлива, в качестве одного из вариантов предлагается водород, так как в результате сгорания в чистом кислороде продуктами будут – вода и тепловая энергия. Также водород обладает рядом преимуществ: низкая молекулярная масса, высокое энергосодержание и неограниченные запасы, так как его можно добывать из воды, а удельная энергия сгорания водорода в 3 раза выше чем у бензина.

Водород является очень химически активным и взрывоопасным газом, это накладывает ряд ограничений на условия его хранения и на используемые при этом материалы. Современные способы хранения, такие как сжатие, сжижение водорода или закачка в гидриды металлов имеют ряд недостатков: низкое объемное содержание, большие энергозатраты, высокая стоимость.

Возможным решением проблемы может стать использование углеродных сорбентов, в качестве материалов для хранения водорода. Так как они могут иметь достаточно развитую сорбционную поверхность и относительно малую стоимость. Одной из форм углерода, подходящей для промышленного использования в качестве сорбента, является технический углерод. В обычном состоянии это мелкодисперсный порошок, но так как они могут засорять вакуумное оборудование, проявляют сильное сопротивление газовому потоку, то наиболее оптимальной формой его использования являются гранулы или таблетки обладающие развитой поверхностью, постоянной пористостью и устойчивой структурой.

Данная работа является частью исследований, направленных на поиск оптимальных, для таблеток на основе углерода, форм и состава, обеспечивающих высокую развитость сорбционной поверхности.

Ее целью является определить зависимость пористости таблеток, на основе технического углерода, от состава и условий их получения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор и сравнение наиболее безопасных и рациональных методов хранения водорода, а также вариантов использования углерода в качестве сорбента.

2. Установить влияния исходного состава, условий прессования и обжига на пористость получаемых углеродных таблеток.

3. Выполнить анализ размера пор пресс-композиций на основе углерода.

1 Обзор

1.1 Водород как альтернативный источник энергии

1.1.1 Основные свойства водорода

Водород – это первый элемент в периодической таблице химических элементов Дмитрия Ивановича Менделеева. В природе существуют стабильные изотопы водорода – протий и дейтерий, и нестабильный - тритий [1]. Относительная атомная масса H_2 составляет 1,0079. В нормальных условиях водород является газом, не имеющим вкуса, цвета, запаха. При охлаждении до состояния жидкости водород занимает одну семисотую объема газообразного состояния. Так как водород является очень химически активным, он практически отсутствует в свободном состоянии. Чаще всего находится в соединении с другими элементами, например, в воде с кислородом. По причине того, что жидкий водород при сгорании выделяет большое количество энергии, его применяется как источник ракетного топлива, в котором важными факторами являются высокое энергосодержание и низкая молекулярная масса. Вода и высокотемпературное тепло будут основными продуктами сгорания водорода в чистом кислороде [2].

Можно сделать вывод, что при использовании водорода не образуются вредные вещества, и не нарушается круговорот воды в природе. Водород является одним из самых распространенных элементов на Земле. На каждые 100 атомов приходится 17 атомов водорода. Если учесть, что массовая доля водорода в воде равняется 11,19 %, а воды на планете более $1,5 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$, то становится понятным, что сырьевой базы для получения водорода на Земле – огромное количество. А если учесть тот факт, что водород при сгорании не образует загрязняющих атмосферу веществ, то можно говорить о перспективности водородных технологий. Понятие водородные технологии подразумевает под собой комплекс промышленных методов и средств для получения, перевозки и хранения водорода, а также технологий его безопасного использования на основе неисчерпаемых источников сырья и энергии.

1.1.2 Получение водорода

На сегодняшний день существует много различных методов получения водорода, это и основанные на выделении водорода как продукта жизнедеятельности специально подобранных бактерий, называемые биологическими, так и классические электролиз и конверсия углеводородов (Рисунок 1.1). В общей сложности примерно 60 миллионов тонн водорода производится промышленными способами, из них подавляющая доля получаемого H_2 добывается из природных углеродсодержащих ископаемых, таких как нефть, газ, уголь. В 2007 году около сорока процентов водорода было произведено из продуктов добычи жидких углеродных ископаемых из которых почти половина была потрачена на переработку нефти [3]. Основную долю получаемого H_2 составляют сопутствующие продукты нефтедобычи и используется локально в процессе производства. На следующем месте, по объемам производства водорода, стоит природный газ, и затем он используется для получения аммиака. Потребление водорода, как энергоносителя, в настоящее время является довольно низким.

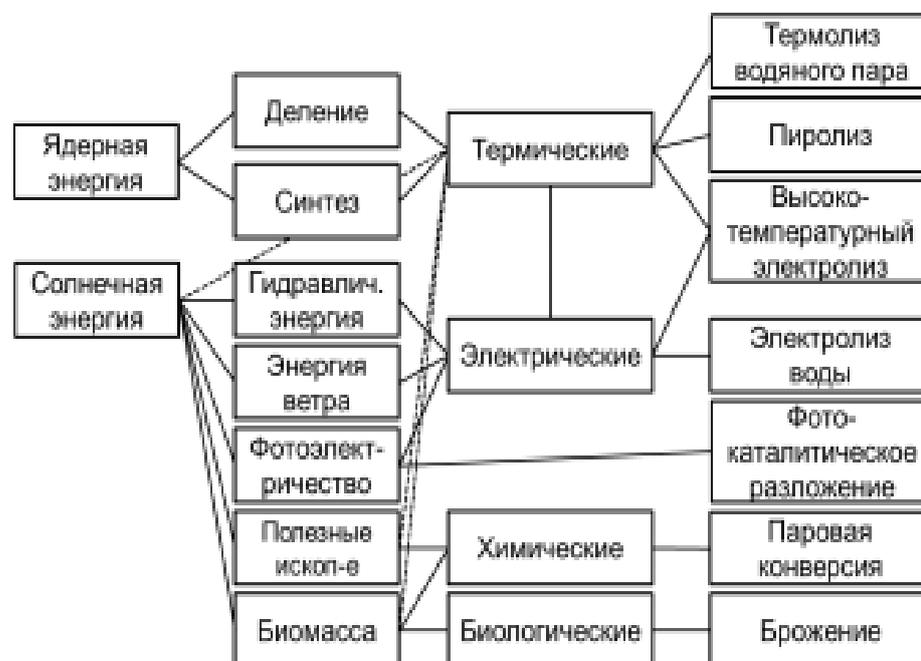


Рисунок 1.1 – Методы производства водорода

Основные способы получения водорода из углеводородов и биомассы:

1. Газификация;
2. Конверсия угля;
3. Частичное окисление;
4. Биологические методы.

Первые три метода характеризуются получением газа, представляющем из себя смесь водорода с углеродным оксидом в пропорции один к трем. Когда H_2 получают из первоначального сырья, не исключено появление промежуточных компонентов, например, биогаз синтетические топлива и т.д. с применением гидролиза, пиролиза, этерификацию, спиртовую ферментацию, анаэробную ферментацию. Водород может быть получен с использованием пяти основных методов, упомянутых выше [4].

Для получения водорода может быть использован электролиз воды, основные виды электролиза отличаются типом носителей заряда, такими как гидроксид-ионы в щелочном электролизе воды и протоны в кислотном.

Водород, полученный из воды, является одним из наиболее энергонасыщенных энергоносителей. В конце концов, теплота сгорания 1 кг H_2 составляет (при самом низком пределе) 120 МДж / кг, тогда как теплота при сжигании обычного бензина или высококачественного топлива для самолетов равняется 46-50 МДж / кг, то есть в 2,5 раза меньше 1 тонна водорода соответствует его энергии, эквивалентной 4,1 тонны бензина, кроме того, водород является легко возобновляемым топливом. Удельная теплота сгорания основных топлив указана в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Удельная теплота сгорания основных топлив [4]

Топливо	Удельная теплота сгорания, МДж/кг
Водород	118,98
Водород + метан (50 % H_2 и 50 % CH_4 по массе)	86

Таблица 1.1. Продолжение

Топливо	Удельная теплота сгорания, МДж/кг
Водород + метан + углекислый газ (33 % H ₂ , 33 % CH ₄ и 33 % CO ₂ по массе)	59
Бензин	45
Метан	49

Применение водорода в качестве топлива для автомобилей интересен по следующим причинам:

- при использовании воды в качестве источника для получения водорода, он становится неисчерпаемым источником энергии;
- большая энергоёмкость водорода;
- водород является абсолютно экологически чистым источником энергии, так как в результате его сгорания в автомобильном двигателе, образуется только вода;
- наименьшая теплота сгорания водорода составляет 120 МДж/кг, что превышает аналогичный показатель бензина почти в 3,5 раза.

Применение водородного топлива в автомобильных двигателях, имеет различные вариации:

- использование водорода как смесь с традиционными нефтяными топливами;
- применение водорода как топлива в топливных блоках;
- использование чистого водорода.

Производство водорода, на сегодняшний день, имеет объемы в 45 миллионов тонн в год, и около девяноста процентов получается в результате процессов, связанных с переработкой нефти. Метод электролиза воды, пока что является довольно энергозатратным методом получения водорода, и в результате очень дорогим. Энергия, получаемая при сгорании H₂ в двигателе автомобиля, практически равна энергии затраченной на его производство. Ещё одним

способом получения водорода является конверсия природного газа в синтез-газ [5].

1.1.3 Хранение водорода

Хранение - это сложная проблема, которая затрагивает сферы производства, доставки и конечного использования водорода в качестве энергоносителя. Он представляет собой ключевую технологию, позволяющую реализовать водородную экономику. Водород может храниться в газообразном состоянии, в форме (сжатый газ), в виде жидкости (20 К или $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также в твердой среде. Первые два метода являются довольно устоявшимися технологиями с некоторыми ограничениями [6], в основном важным из которых является их энергоемкий характер. Твердотельное хранение водорода, которое все еще находится в зачаточном состоянии, представляется возможной привлекательной альтернативой. В частности, это связано с его повышенной безопасностью и объемной плотностью энергии. Тем не менее, если будет выбрано это решение, придется учесть потери в эффективности веса, управлении температурным режимом и масштабировании. В настоящее время ведутся интенсивные исследования по преодолению ограничений существующих технологий хранения водорода и разработке эффективных решений с точки зрения эффективности и безопасности.

Хранение в газообразной форме

В настоящее время это одна из самых простых, распространенных и эффективных технологий хранения. Водород под высоким давлением хранится в толстостенных резервуарах (в основном цилиндрической или квазиконформной формы), изготовленных из высокопрочных материалов для обеспечения долговечности. Конструкция резервуара для хранения, основанная на классических детерминированных инженерных подходах, еще не оптимизирована: резервуары на самом деле имеют большие размеры; неэффективное использование материала и довольно плохая оценка срока службы сосудов высокого давления [5, 7].

Согласно Европейскому интегрированному водородному проекту, который возглавляет разработку глобальных нормативных стандартов для испытаний водорода и сертификации компонентов и систем инфраструктуры заправки водородом, резервуары для хранения сжатого газа и водорода можно разделить на четыре типа:

1. цельнометаллический цилиндр;
2. несущий металлический обруч гильзы, обернутый пропитанной смолой непрерывной нитью;
3. металлический ненесущий осевой вкладыш и обруч, обернутый пропитанной смолой непрерывной нитью;
4. ненесущий неметаллический вкладыш в осевом направлении и обруч, обернутый пропитанной смолой непрерывной нитью.

Хранение в жидких формах или средах

Водород в жидкой форме имеет значительно более высокую плотность энергии, чем в газообразной форме, что делает его привлекательной средой для хранения. С точки зрения применения жидкий водород и соответствующие технологии уже использовались в космосе (Space Shuttle Ariane), а также в военных самолетах. Что касается наземного транспорта, то был разработан и испытан ряд автомобилей, работающих на водороде в емкостях новой конструкции с потерями на испарение менее 1,5 мас.% в день. Также построены автоматизированные заправочные станции жидким водородом [8].

Эта технология хранения водорода довольно эффективна, но имеет недостатки, в основном энергию, необходимую для сжижения газа и строгий контроль, необходимый для температурной стабильности контейнера, чтобы избежать любого риска возникновения избыточного давления. Он также требует криогенных сосудов и страдает от потерь водорода из-за испарения из контейнеров, особенно из меньших (они имеют большее отношение поверхности к объему, чем большие контейнеры, следовательно, большие потери водорода). Непрерывно испаряемый водород можно каталитически сжигать с воздухом в

системе защиты от избыточного давления контейнера или даже снова собирать в металлогидриде [9].

Хранение в гидридах металлов

Гидриды металлов основаны на металлических сплавах и действуют как губка, поглощающая газообразный водород. В результате химической реакции под давлением водорода образуются твердые соединения водорода с металлом и выделяется тепло. И наоборот, водород выделяется при воздействии тепла на материалы, например, за счет нагрева резервуара и за счет снижения давления. Молекула водорода сначала абсорбируется на поверхности, а затем диссоциирует в виде прочно связанных отдельных атомов водорода. Металлы легированы, чтобы оптимизировать как вес системы, так и температуру, при которой может быть восстановлен водород. Когда необходимо использовать водород, он выделяется из гидрида при определенных условиях температуры и давления. Этот процесс можно повторять много раз без потери емкости хранилища [10].

Хранение в углеродных материалах

Водород, в зависимости от приложенного давления и температуры, может адсорбироваться и обратимо накапливаться на твердых поверхностях в результате физической адсорбции (силы Ван-дер-Ваальса) или хемосорбции (как в гидридах металлов). Материалы с большой удельной площадью, такие как наноструктурированный углерод и углеродные нанотрубки, являются возможными субстратами для физической адсорбции. С точки зрения накопительной емкости изогнутые структуры, такие как углеродные нанотрубки, кажутся более эффективными по сравнению с графитом с большой площадью поверхности (на 25% больше при низких температурах).

Такое поведение связано с их структурой, взаимодействующей с молекулой водорода, и с более высокими силами притяжения, действующими по сравнению с открытыми структурами с плоской поверхностью [7, 11]. Такой эффект ослабевает с повышением температуры.

Если посмотреть на результаты исследований, опубликованных за последние годы, можно увидеть противоречивые данные об обратимом накоплении водорода в углеродных нанотрубках. В основном это вызвано недостаточной характеристикой используемого углеродного материала. В 1998 г. сообщалось о необычайных емкостях хранения водорода, на порядок превышающих все известные на сегодняшний день. Эти значения емкости могут быть сомнительными и, возможно, должны рассматриваться с некоторым скептицизмом, поскольку они довольно непоследовательны и не воспроизводятся. Свойства хранения водорода в нанотрубках еще полностью не изучены. Тем не менее, по-прежнему существует научный интерес, особенно к одностенным нанотрубкам, которые можно рассматривать как многообещающую среду для безопасного хранения водорода. Большинство исследователей согласны с тем, что следует проводить тщательные и систематические исследования, концентрируясь на разработке, чтобы улучшить сорбционные свойства, а также на адекватную характеристику этих материалов. Такие процедуры, как шаровая мельница и предварительная обработка, по-видимому, увеличивают количество дефектов, таких как оборванные углеродные связи, и могут привести к образованию сильно дефектных структур, в которых водород хемосорбируется и легко выделяется.

Удельные показатели основных способов хранения водорода представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Удельные показатели пяти способов хранения [12]

Способ хранения	Удельное потребление энергии, кВт·ч/кг H ₂	Удельный объем хранения, дм ³ /кг H ₂	Удельная масса хранения, кг/кг H ₂
Газообразный водород при низком давлении	0,39	1020	—

Таблица 1.2. Продолжение

Способ хранения	Удельное потребление энергии, кВт·ч/кг H ₂	Удельный объем хранения, дм ³ /кг H ₂	Удельная масса хранения, кг/кг H ₂
Газообразный водород при высоком давлении	0,93	81	16,0
Водород в гидридах	1,16	22	76,9
Жидкий водород	10,50	14	7,0
Криогенная адсорбция	3,20	59	20,0

Преимущества и недостатки основных методов хранения водорода приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Оценка основных методов хранения водорода [13]

Способ хранения	Преимущества	Недостатки
Газообразный водород (T = 300 К, p ≤ 20 МПа)	Технология хорошо отработана и доступна, относительно невелика стоимость	Низкое объемное содержание (около 7,7 кг/м ³ при давлении 10 МПа). Плотность запасенной энергии при высоких давлениях (до 70 МПа) сравнима с жидким водородом, но технология хранения при таких высоких давлениях до конца не отработана

Таблица 1.3. Продолжение

Способ хранения	Преимущества	Недостатки
Жидкий водород ($T = 20,4 \text{ K}$)	Технология доступна, высокая плотность (71 кг/м^3)	Высокие энергозатраты на сжижение, потери водорода, на испарение, необходимость суперизоляции, как следствие, высокая стоимость
Криогенная адсорбция ($T = 155 \text{ K}$)	Технология проста и достаточно отработана	Низкое объемное содержание ($0,5\text{--}20 \text{ кг/м}^3$). Необходимость охлаждения и компримирования
Гидриды металлов, сплавов, интерметаллических соединений и композитов	Удобство и безопасность хранения в твердой фазе (в связанном состоянии); ряд технологий достаточно хорошо отработан	Недостаточная емкость, необходимость подогрева, деградация со временем, относительно высокая стоимость
Углеродные наноструктуры: нанотрубки, фуллерены	Технологии в перспективе могут обеспечить высокую плотность хранения водорода ($30\text{--}100 \text{ кг/м}^3$)	Производство углеродных структур недостаточно отработано, результаты по удержанию водорода невоспроизводимы

Перспективным способом является сорбция водорода пористыми материалами, в частности на углеродной основе.

1.2 Углеродные сорбенты

1.2.1 Углерод и варианты его использования для сорбции.

Свойства веществ определяются их химическим составом, структурой кристаллической решеткой 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 [14]. В случае распределения электронов как $1s^2 2s^1 2p^3$ – атом становится четырехвалентным. На рисунке 1.2 представлена структура аллотропных модификаций углерода [15].

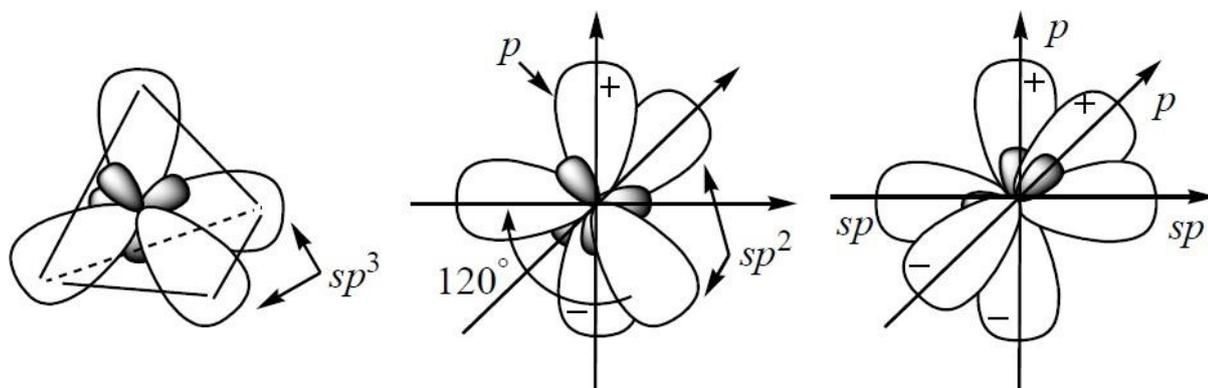


Рисунок 1.2 – Структура аллотропных модификаций углерода

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).

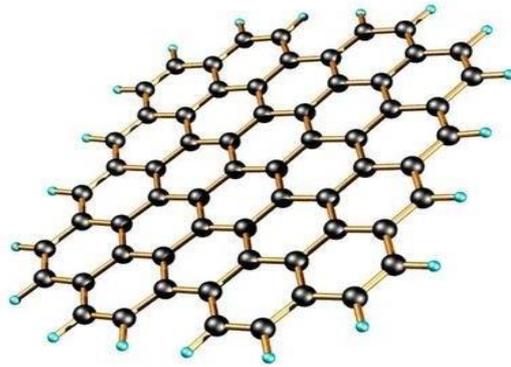


Рисунок 1.3 – Слой атомов углерода при sp^2 -гибридизации

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.

Углерод имеет несколько структурных модификаций:

- Фуллерены;
- Нанотрубки;
- Графитовое нановолокно;
- Технический углерод.

Энергия адсорбции технического углерода 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.

Технический углерод - относится к классу промышленных углеродных продуктов, где углерод находится в форме, которая не встречается в природных материалах. Это полидисперсный порошкообразный материал, черного цвета, образующийся в газовой фазе при термическом или термоокислительном разложении углеродосодержащих веществ, преимущественно углеводородов.

Применение технического углерода в форме 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 [16].

1.3 Пористость материалов

1.3.1 Характеристики пористой структуры

Пористые материалы широко распространены вокруг нас и играют роль во многих аспектах нашей повседневной жизни. Среди областей, в которых они могут быть применены, являются управление энергопотреблением, подавление вибрации, теплоизоляция, звукопоглощение, фильтрация жидкости и сорбция газов. Высокопористые твердые тела имеют относительно высокую структурную жесткость и низкую плотность массы, поэтому пористые твердые тела часто служат структурными телами в природе, в том числе в древесине и костях [17].

Как следует из их названия, пористые материалы содержат много пор. Пористые твердые частицы состоят из сплошной твердой фазы, которая образует основной пористый каркас, и жидкой фазы, которая образует поры в твердом теле. Последний может состоять из газа, если в поре имеется газовая среда, или из жидкости, если в поре имеется жидкая среда.

Количество пор будет различаться для разных пористых материалов. Пористые материалы можно разделить на низкую, среднюю или высокую пористость в зависимости от количества пор. Обычно пористые материалы с низкой и средней пористостью имеют закрытые поры, которые ведут себя как фаза примесей. Для пористых материалов с высокой пористостью существуют два разных случая в зависимости от различной морфологии поры и сплошной твердой фазы. В первом случае непрерывное твердое тело образует двумерный массив многоугольников; поры изолированы в пространстве, соответственно образуя многоугольные столбики; Форма поперечного сечения поры обычно треугольная, четырехугольная или шестиугольная. Эта структура похожа на

шестиугольную ячейку соты, и такие двухмерные пористые материалы называются сотовыми материалами. Пористые материалы с направленными порами [18], которые называются пористыми материалами типа лотоса, имеют аналогичную структуру, что и сотовые материалы, но форма поперечного сечения пор для этих материалов круглая или эллиптическая, и поры часто не могут проходить сквозь них. Это, что приводит к меньшей равномерности распределения и меньшей плотности массива. Во втором случае сплошное твердое тело представляет собой трехмерную сетчатую структуру, и такие пористые материалы можно назвать трехмерными сетчатыми вспененными материалами.

Эти материалы имеют соединительные поры, которые имеют типичную структуру с открытыми ячейками. В третьем случае сплошное твердое тело показывает структуру ячеистой стенки пор сферичности, эллиптической сферичности или формы многогранника, и такие трехмерные пористые материалы можно назвать вспененными материалами в виде пузырьков. Внутри этих материалов клеточная стенка может разделять множество изолированных закрытых пор или ячеек, образуя вспененное вещество с закрытыми ячейками, похожее на пузырьки. Стенка клетки также может состоять из вспененного материала с открытыми порами, похожего на пузырьки. В литературе трехмерные сетчатые вспененные материалы упоминаются как «вспененные материалы с открытыми ячейками», вспененные материалы с закрытыми ячейками, похожие на пузырьки, называются «вспененные материалы с закрытыми ячейками», а вспененные материалы с открытыми ячейками и пузырьками «вспененные материалы с полукрытыми ячейками».

Пористые твердые тела включают два типа пористых тел (т.е. естественные и искусственные). Природные пористые твердые вещества можно найти повсеместно [19], например, кости, поддерживающие тела и конечности животных и людей, листья растений, дерево, губку, коралл, пемзу и лава. Жидкая фаза, содержащаяся в порах листьев растений и стволов живых деревьев, всегда состоит из жидкости, в то время как внутри искусственных пористых материалов

в основном используется газ. Искусственные пористые материалы можно подразделить на пористые металлы, пористую керамику и пенополимеры.

Общей (истинной) пористостью называется весь объем пор в данном объеме материала. Общую пористость $\Pi_{\text{общ}}$, %, вычисляют по формуле:

$$\Pi_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 10. \quad (1.1)$$

Открытой пористостью материала называется объем тех пор, которые сообщаются с внешней средой. Их объем может быть измерен путем водонасыщения материала. Открытую пористость, $\Pi_{\text{откр}}$, %, вычисляют по формуле:

$$\Pi_{\text{откр}} = \left(\frac{m_2 - m_1}{V}\right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_{\text{в}}}\right) \cdot 100, \quad (1.2)$$

где m_1 и m_2 - масса образца соответственно в насыщенном водой и сухом состоянии; V - объем материала; $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды.

Закрытую пористость $\Pi_{\text{закр}}$ находят по разности между общей и открытой пористостью:

$$\Pi_{\text{закр}} = \Pi_{\text{общ}} - \Pi_{\text{откр}}. \quad (1.3)$$

Величина пористости в значительной мере влияет на прочность материала.

Величина прочности также зависит от размеров пор: она возрастает с их уменьшением. Прочность мелкопористых материалов, а также материалов с закрытой пористостью выше, чем прочность крупнопористых и с открытой пористостью [20].

Существует много типов пористых систем. И в различных образцах, и в одном и том же образце отдельные поры могут значительно различаться как по форме, так и по размеру. Особый интерес во многих случаях может представлять поперечный размер пор, например, диаметр цилиндрических пор или расстояние между стенками щелевидных пор. Удобную классификацию пор по размерам предложил М. М. Дубинин. В настоящее время эта классификация официально

принята Международным союзом по теоретической и прикладной химии (IUPAC). В соответствии с этой классификацией поры делятся на виды по размерам: микропоры (<2 нм); мезопоры (2-50 нм); макропоры (>50 нм).

Пористая структура характеризуется несколькими основными параметрами достаточными для её исследования: пористостью и удельным суммарным объёмом пор, удельной поверхностью пористой системы, характерными размерами и распределением по размерам пор. Параметры для исследования пористой структуры материалов составляют комплекс пространственных (геометрических) физических и математических величин, которые определяются с помощью современных средств измерений и вычислительной техники представлены на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Классификация параметров пористой структуры

Практическое значение имеет классификация пор по размерам, основанная на принципе относительности размеров пор и основных элементов структуры скелета пористого тела, предложенная Черемским, и классификация пор по размерам, согласованная со способом анализа пористости, предложенная Дубининым и приведённая в соответствие с нормами Международного союза теоретической и прикладной химии.

1.3.2 Методы исследования пористой структуры

Распределение объема пор пористого твердого тела в зависимости от размера пор становится все более важным для понимания химического и физического поведения пористых материалов. Чтобы понять и предсказать макроповедение и свойства инженерного материала, часто необходимо исследовать микроструктуру материала. Для многих пористых инженерных материалов, включая углеродные, пустоты сильно влияют на механические свойства. Таким образом, анализ микроструктуры этих материалов должен включать определение распределения пор по размерам, чтобы точно предсказать их макроповедение.

Метод капиллярной конденсации, также часто называют абсорбцией газа или пара. Для этого метода общий объем пор и распределение пор по размерам определяют из изотерм адсорбции газа. Объем пор - это объем сконденсированного адсорбата при давлении насыщенного пара. Когда давление снижается, адсорбат сначала испаряется из более крупных капилляров, как это диктуется уравнением Кельвина.

Метод ртутной поросметрии был предложен Восборном (1921), позже разработан Ритгером и Дрейком (1945), а затем развит Уинслоу и Шапиро (1959). Поскольку большинство материалов не смачиваются ртутью, требуется минимальное давление p , чтобы заставить ртуть пройти через сужение. Давление, необходимое для проникновения в круговую пору радиуса r , определяется уравнением Юнга и Лапласа и может быть записано как:

$$p = \frac{2\gamma \cdot \cos\theta}{r}, \quad (1.4)$$

где γ - поверхностное натяжение ртути, а θ - угол контакта мениска со стенками капилляра.

Распределение объема пор определяется путем измерения объема ртути, проникшей в образец при повышении давления. Измеренные значения давления преобразуются в радиусы пор с помощью уравнения 2.

Недавно были выдвинуты две теории, объясняющие гистерезис и улавливание ртути после экструзии. Хилл (1960) утверждает, что проникновение продвигается в осевом направлении, в то время как экструзия продвигается в радиальном направлении. Считая это предположение правильным, Хилл показывает, что давление экструзии должно быть равно половине давления проникновения для цилиндрической поры. Хилл также представляет экспериментальные доказательства в поддержку этой теории. Эта теория также предсказывает, что если радиус шейки меньше половины радиуса тела для системы по существу цилиндрических пор, то улавливание ртути будет происходить в телах пор [21].

Метод насыщения (или пропитывания), в нем чистый сухой образец взвешивается до полного насыщения смачивающей жидкостью. Обычно в прошлом использовались толуол или дихлорметан, но в последнее время стало обычным делом насыщать породу синтетическим рассолом, который имеет катионный и анионный состав. Вес насыщенного образца определяется после удаления избытка рассола с поверхности образца. Насыпной объем образца в форме цилиндра или куба может быть определен геометрическими средствами с помощью штангенциркуля. Также необходимо знать плотность насыщающей жидкости или определить ее путем взвешивания известного объема жидкости.

Метод плавучести в некоторой степени похож на метод насыщения, в котором определяется сухой вес, а затем образец породы насыщается смачивающей жидкостью известной плотности. Затем определяется общий объем породы. Однако при таком подходе насыщенный образец суспендируют в ванне с той же жидкостью, которой он был насыщен, чтобы получить его взвешенный вес. Вес люльки, используемой для подвешивания образца, также необходим, чтобы фактический вес образца и люльки, подвешенной в жидкости, можно было учесть при окончательном расчете пористости.

Оптическая петрология - это наиболее простой, точный и воспроизводимый способ оценки системы пор. Чтобы лучше идентифицировать поры и трещины, в образец пропитывают один из двух типов эпоксидной смолы,

нормальный синий или родамин-В для флуоресценции в ультрафиолетовом свете, чтобы выделить систему пор. Готовый шлиф просматривают в плоско-поляризованном, кросс-поляризованном или ультрафиолетовом свете, чтобы исследовать двумерное поперечное сечение породы, оценить объемный минеральный состав и сделать важные наблюдения относительно структуры и текстуры зерен путем подсчета точек или анализа изображений минералогии, текстуры, диагенеза, системы пор и качества резервуара образца. Однако, несмотря на большой объем доступной информации, фактическое трехмерное соотношение зерен и детали межзеренной структуры пор всегда были недоступны для нас [22].

Изучение открытой макропористости возможно методами визуально-оптическими и световой микроскопии, капиллярными, термопорометрии, жидкостной и газовой волюмометрии, гидростатического взаимодействия жидкостей, заполнения пор жидкостью, гидростатического взаимодействия жидкостей, эталонной порометрии. Практически целесообразно сочетать методы микроскопии, заполнения пор жидкостью и эталонной порометрии.

1.3.3 Особенности и параметры пористой структуры сорбентов на основе углерода

Углеродные высокопористые сорбенты являются твердыми веществами, которые обладают развитой удельной поверхностью, способны выборочно поглощать из жидких и газообразных сред различные вещества [23]. Также углеродные сорбенты являются высокомолекулярные по химическому составу материалами [24].

Так как для углеродных сорбентов типично наличие сложной пористой структуры, они обладают различными видами пор, но также встречается преобладание конкретного вида пор. Поэтому они относятся к неоднородно-пористым материалам. В зависимости от размеров пор и их распределения по объему, выбирается область использования конкретного сорбента.

Углеродные сорбенты имеют развитую систему микропор (0,6-0,7 нм) и супермикропор ($0,7 < r < 1,5$ нм), что выгодно отличает их от других высокопористых материалов и является одной из главных структурных особенностей. Ведь для адсорбции газов, и в большинстве случаев для адсорбции жидкостей, основную роль играют супермикропоры и микропоры. По объему поры углеродных микропористых сорбентов лежат в интервале от 0,2 до 0,6 см³/г. По всему объему действующих пор действуют адсорбционные силы, в результате чего адсорбция веществ сводится к полному объемному заполнению ими всего пространства пор [25].

Но помимо микропор в углеродных сорбентах присутствуют поры, которые вносят основной вклад в адсорбцию крупных органических веществ из растворов и используются для перевозки этих веществ. Это так называемые мезопоры от 1,6 до 100 нм и макропоры (свыше 100 нм), в адсорбции газов и паров эти поры играют малую роль и имеют ценность в основном для промышленного применения. Макропоры углеродных сорбентов в основном играют роль связующих каналов для транспортировки сорбируемого вещества с поверхности материала к сорбирующим порам.

Критерием развитости внутренней поверхности пор, а также одним из основных показателей сорбционной способности, является удельная поверхность сорбента. Поэтому при фабрикации углеродных таблеток важное значение имеет возможность того или иного способа производства получить изделие с высокой удельной развитостью поверхности. У активных углей, имеющих высокую степень очистки, значение удельной поверхности может достигать до 1500 м²/г [26]. В мезопорах сорбционные силы не действуют в объеме пор, сорбция осуществляется на некотором незначительном расстоянии от поверхности и имеет полимолекулярный или мономолекулярный характер взаимодействия.

1.4 Параметры и условия фабрикации таблеток

1.4.1 Технология фабрикации таблеток

Технология получения таблеток включает в себя следующие основные стадии:

- Подготовка пресс-порошка;
- Прессование таблеток;
- Спекание таблеток;

На каждой стадии производства закладываются основные характеристики готовой продукции.

Подготовка пресс-порошка

Сырьем для прессования «сырых» таблеток является пресс-порошок – порошок, обладающий заданными физико-химическими свойствами. Для получения таких характеристик, как текучесть или пористость, из пресс-порошка готовят смесь, в состав которой могут входить: мягкий порообразователь и пластификатор, в определенных пропорциях. Пластификаторы – это вещества, которые вводят в состав полимерных материалов для придания (или повышения) эластичности или пластичности при переработке и эксплуатации. Пластификаторы облегчают диспергирование ингредиентов, снижают температуру технологической обработки композиций, улучшают морозостойкость полимеров, но иногда ухудшают их теплостойкость. Некоторые пластификаторы могут повышать огне-, свето- и термостойкость полимеров. Для более равномерного распределения порошков в объеме, их предварительно перемешивают. Существует сухие способы перемешивания и мокрые, с использованием дополнительной жидкости.

Прессование таблеток

Готовый пресс – порошок засыпается в специальную форму. Далее форма с пресс - порошком подается на установку для прессования таблеток. Производится прессование таблеток при определенных давлении и времени выдержки. Полученные таблетки выгружаются из пресса в контейнеры.

Спекание таблеток

Спекание таблеток производится в высокотемпературной печи, которая обычно состоит из 4 секций.

В первой секции происходит удаление связующего компонента. В результате нагрева происходит процесс испарения влаги и удаления из системы через трубы газообразных примесей.

Во второй секции происходит предварительный нагрев таблеток.

В третьей секции происходит высокотемпературная обработка таблеток. По мере продвижения по зонам третьей секции происходит спекание вещества.

Четвертая секция представляет собой теплообменник, к внешним стенкам которого прикреплены стальные змеевики, в которых циркулирует вода.

После спекания контейнеры со спеченными таблетками подаются к шлифовальному станку.

1.4.2 Влияние различных добавок на пористость углеродных таблеток

Перед прессованием в пресспорошки вводят технологические добавки — связки или пластификаторы, которые удаляются затем при отгазовке и спекании. Введение этих добавок облегчает процесс прессования, поскольку они уменьшают трение прессуемого материала о стенки пресс-формы и трение между частицами порошка, что позволяет снизить давление прессования и обеспечить более равномерную плотность таблеток. Это облегчает также получение необходимой прочности таблеток и хорошего качества их поверхности. Связки позволяют в известной степени регулировать и пористость таблеток. В качестве связки применяют поливиниловый спирт, полиэтиленгликоль, камфору, парафин, воск, синтетический каучук. Для равномерного распределения связок в объеме порошка их используют обычно в виде растворов в органических жидкостях. Чаще других используют водные растворы высокомолекулярных спиртов. Однако это усложняет технологию, так

как при этом необходимо обеспечить узкий предел колебаний давлений прессования.

Более удобны неводные пластификаторы, например, высокомолекулярные жирные кислоты и их соли (стеараты, бегенаты), использование которых обеспечивает высокую стабильность размеров таблеток с равномерным распределением в них пор. Связующие и смазывающие свойства этих веществ проявляются при меньших добавках к шихте. В зависимости от крупности порошка и состава связки ее вводят в количестве с массовой долей от 0,1 до 1 % [27]. Избыток связки нежелателен, так как это приводит к уменьшению плотности прессованных таблеток.

В данной работе в качестве пластификаторов использовались стеарат натрия и фторопласт.

Свойства стеарата натрия

Стеарат натрия – соль стеариновой кислоты, представляет собой бесцветные кристаллы. Химическая формула $C_{17}H_{35}COONa$.

Стеарат натрия хорошо растворяется в горячей воде и этаноле.

Основные свойства стеарата натрия представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Свойства стеарата натрия [27]

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

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.

Свойства фторопласта – 4

Фторопласт – 4 – Фторсодержащий полимер белого цвета, относится к группе конструкционных пластиков. Химическая формула $(-C_2F_4-)_n$.

Фторопласт обладает высокой химической стойкостью, разрушать его можно только трифторидом хлора, абсолютно не поглощает влагу, биологически инертен.

Основные свойства фторопласта представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Свойства фторопласта [27]

Химическая формула	$(-C_2F_4-)_n$
Минимальная рабочая температура, °С	-269
Максимальная рабочая температура, °С	260
Плотность, г/см ³	2,2
Температура плавления, °С	327
Температура разложения, °С	415

1.4.3 Влияние прессования на пористость углеродных таблеток

Прессование является одной из основных технологических операций, определяющих качество и стабильность свойств получаемых таблеток. Прессуемость порошка определяется такими его свойствами, как формуемость и уплотняемость. Формуемость — это способность удерживать приданную форму, и определяется она минимальным давлением прессования, при котором изделие не рассыпается и его кромка устойчива. Уплотняемость — это уменьшение пористости между частицами порошка. Прессуемость порошка зависит от формы и размера частиц, их распределения по фракциям, состояния поверхности и т.д. Тонкие порошки и порошки с развитой поверхностью характеризуются хорошей формуемостью, но невысокой уплотняемостью [28]. Чем выше насыпная масса, тем хуже формуемость и лучше уплотняемость.

Назначение прессования — формирование из порошковой шихты полуфабрикатов определенной формы, размеров и прочности.

Простейшая конструкция пресс-формы (рис. 1.5) состоит из матрицы, верхнего и нижнего пуансонов, между которыми засыпается прессуемый порошок. Усилие прессования прикладывается к верхнему пуансону. В этом случае мы имеем дело с так называемым односторонним прессованием.

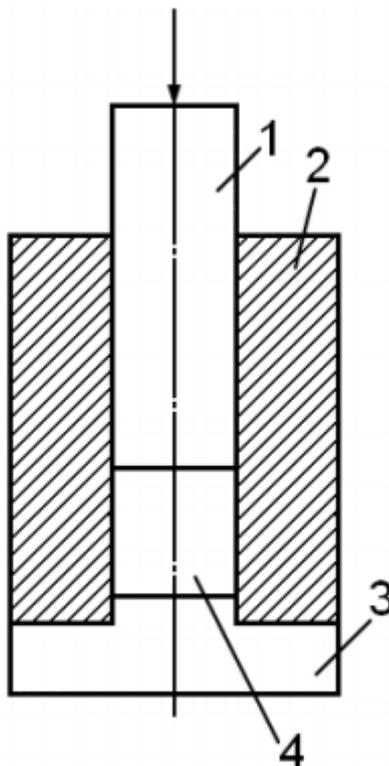


Рисунок 1.5 – Простейшая конструкция пресс-формы: 1 – верхний пуансон; 2 – матрица; 3 – нижний пуансон; 4 – порошок

Изменение объема порошкового тела при прессовании происходит в результате процессов уплотнения — консолидации (под консолидацией понимается рост контактного сечения). Плотность прессовок зависит от давления прессования, влияние которого можно условно разделить на три этапа (рис. 1.6). Засыпанный в пресс-форму порошок до приложения усилия обладает плотностью, соответствующей насыпной плотности.

На первом этапе даже самое небольшое повышение давления вызывает значительное увеличение плотности прессовки за счет уменьшения пустот и

более плотного расположения частиц. В целом первый этап характеризуется «свободным» перемещением частиц.

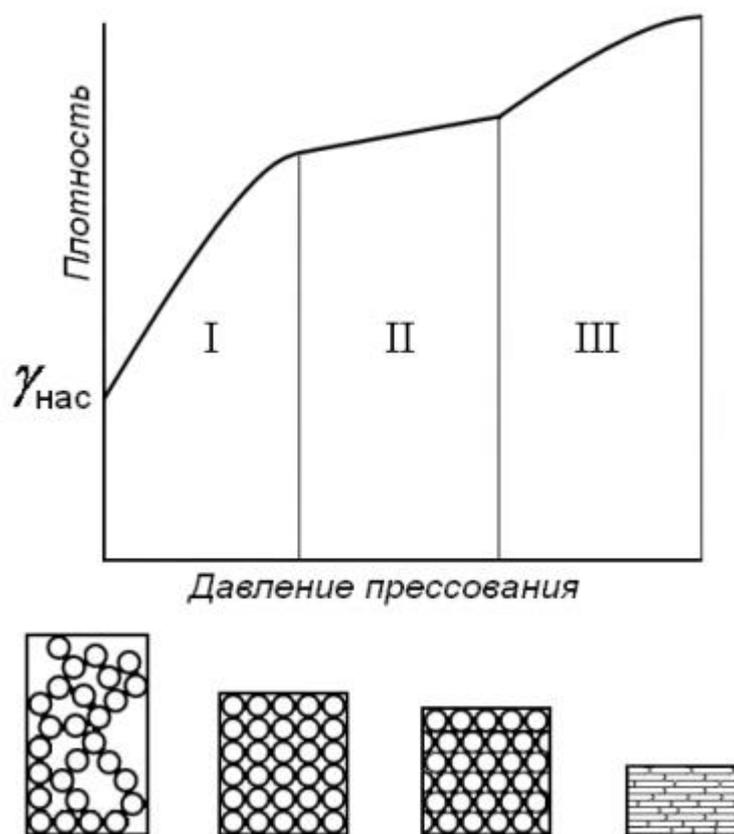


Рисунок 1.6 – Зависимость плотности прессовок от давления прессования

На втором этапе плотно упакованные частицы оказывают определенное сопротивление сжатию. По мере повышения давления происходит сглаживание поверхности частиц за счет трения друг о друга, сдирание оксидных пленок, рост контактного сечения. Появляются силы межатомного взаимодействия, и, как следствие, сопротивление порошкообразного тела внешнему давлению увеличивается, повышение плотности прессовок затормаживается.

На третьем этапе давление прессования превышает сопротивление частиц упругой деформации. Начинается и протекает процесс их пластического деформирования. Металл течет, заполняя пустоты, объем прессовки уменьшается. При прессовании хрупких материалов пластической деформации не происходит. Третий этап характеризуется их хрупким разрушением,

дроблением выступов на поверхности частиц и так же, как и для пластичных металлов, уплотнением и уменьшением объема прессовки.

График, приведенный на рисунке 1.6, представляет теоретическое описание процессов. В действительности имеет место наложение указанных стадий уплотнения. Так, деформация отдельных частиц начинается уже при невысоких нагрузках.

Этому во многом способствует вторая особенность прессования порошковых тел, состоящая в неравномерном распределении плотности прессовок по сечению.

1.4.4 Влияние термической обработки на пористость углеродных таблеток

Традиционные технологии получения углеродных адсорбентов включают две стадии термической обработки углеродсодержащего сырья - карбонизация (пиролиз) и активация (газификация), в процессе которых формируется структура адсорбирующих пор [29]. Методы активирования разделяют на следующие три группы:

1. Парогазовый метод активации предварительно карбонизованных органических веществ. Это так называемая физическая активация или активация окислением;
2. Активирование углей карбонизацией с добавлением химически активных неорганических веществ - это химическая активация или активация пиролизом;
3. Смешанный способ, который включает обработку химическими реагентами и активацию окислением.

Последний способ не нашел широкого применения в производстве углеродных сорбентов.

На стадии карбонизации происходит удаление низкомолекулярных летучих веществ из углеродсодержащего материала и перестройка его внутренней структуры, связанная с ростом истинной плотности, т.е.

осуществляется собственно топохимическое превращение сырьевого материала [30]. Это приводит к формированию ультрамикропор.

Для активирования газами обычно используется кислород (воздух), водяной пар и диоксид углерода. Активирование воздухом имеет избирательный характер, однако существует опасность внешнего обгара гранул. Поэтому предпочтение отдается водяному пару и диоксиду углерода.

Стоит отметить, что традиционная технология получения углеродных сорбентов из углей включает достаточно энергоемкие стадии карбонизации (температура 650-700 °С, продолжительность несколько часов) и окислительной активации (температура 800 – 1000 °С), которые и определяют высокую себестоимость готового продукта. Сырьем для активированных углей являются карбонизированные природные материалы такие как каменный уголь, торфяной кокс и т.д. Активация происходит парогазовым методом. За счет высокой доли летучих компонентов эти материалы легко активируются [31]. Например, графит имеет низкую долю летучих компонентов в результате чего его активация невозможна.

При активации углей химическими методами, сырьем чаще всего являются некарбонизованные материалы, например, торф. Их смешивают с неорганическими активирующими веществами и затем помещают в высокотемпературную среду на какое-то время.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель дипломной работы: проведение исследования особенностей фабрикации и нагрева таблеток на основе углерода с добавлением различных пластификаторов, для сорбции водорода.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по исследованию влияния условий фабрикации таблеток на основе углерода на их пористость.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
- 2) Провести анализ конкурентных технических решений.
- 3) Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
- 4) Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
- 5) Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
- 6) Рассчитать бюджет научного исследования.
- 7) Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. 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

Из анализа карты можно сделать вывод, что объёмы использования водорода, хранящегося в таблетках на основе углерода, имеют наименьшие значения. Это связано с недостаточно хорошо отработанной технологией получения углеродных пресс-композиций. С учетом того что метод хранения водорода в таблетках является самым безопасным и оптимальным, а также в связи с развитием водородной энергетики, потребности, в данном методе хранения, в ближайшее время будут только расти.

3.2 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:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
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. Конкуренционные способы хранения недостаточно удовлетворяют в области безопасности и по массогабаритным параметрам.

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью данного анализа является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В таблице 3.2 приведена матрица SWOT-анализа для изготовления пресс-порошка, прессования и обжига таблеток на основе углерода.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Безопасность при хранении и использовании.	Сл1. Технический углерод плохо сохраняет форму без пластификатора после прессования.
	С2. Техническая простота осуществления метода.	Сл2. Индивидуальный подбор величины давления пресса и времени выдержки таблеток
	С3. В процессе изготовления, исключена возможность засорения вакуумного оборудования.	
	С4. Низкая стоимость компонентов.	
	С5. Экологичность продукта	

Таблица 3.2. Продолжение

Возможности	Простота в	Все перечисленные
<p>В1. Возможность внедрения в массовые производства.</p> <p>В2. Возрастание спроса на технологию из-за широкой области применения.</p> <p>В3. Многократное использование без применения регенерации</p>	<p>использовании</p> <p>получение результатов в короткое время,</p> <p>облегчает внедрение методики в массовое производство.</p>	<p>минусы могут отрицательно повлиять на возможность внедрения в массовое производство.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Незаинтересованность крупных инвесторов.</p> <p>У2. Потеря актуальности из-за большого количества конкурентных технологий.</p> <p>У3. Отсутствие спроса на технологию</p>	<p>Небольшие траты на исправление ошибок, из-за возможности влияния на процесс во время формирования, также возможность получение прибыли в короткие сроки.</p>	<p>Опасные факторы и отсутствие выработанной методики, связанные с новизной метода, могут сказаться на заинтересованности инвесторов.</p>

Таким образом, на основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Далее была проведена оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня собственных знаний для ее проведения. Для этого была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта. Форма представлена в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5

Таблица 3.3. Продолжение

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2

Таблица 3.3. Продолжение

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	43	54

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки

уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (3.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, согласно проведенной оценке проработанность научного проекта находится на среднем уровне, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего. Следовательно, стоит повысить уровень проработанности проекта, его повышению могут поспособствовать более детальные исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

3.5 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и

внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта.

Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений
Управляющие компании	Безопасное использование водородного топлива

В таблице 3.5 представлена информация об иерархии целей проекта и критерия достижения целей.

Таблица 3.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Проведение анализа таблеток на основе углерода с последующими выводами об их свойствах.
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное проведение исследования, которое позволит определить влияние условий фабрикации на свойства получаемых таблеток.
Критерии приемки результата проекта:	Результаты проведенного исследования должны соответствовать теоретическим представлениям.

Таблица 3.5. Продолжение

Требования к результату проекта:	Требование:
	Получение таблеток с заданными параметрами
	Проведение анализа на пористость полученных таблеток

Организационная структура проекта.

Далее определены участники рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Акимов В.Н., ТПУ, магистр	Выполнение исследования по проекту	Основной разработчик проекта	584
2	Видяев Д.Г., ТПУ, профессор	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	432
ИТОГО:				1016

Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут

реализованных в рамках данного проекта. Данная информация представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	382143,6 рублей
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ, РОСАТОМ
3.2. Сроки проекта:	3 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	25.02.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

3.6 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР
	3	Изучение материалов по теме	И

Таблица 3.8. Продолжение

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	4	Анализ литературных источников по фабрикации таблеток	И
	5	Выбор методов анализа пористости	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изготовление таблеток на основе углерода	И, НР
	7	Анализ полученных результатов	И, НР
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта был построен календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	3	01.02.2021	3.02.2021	Акимов В.Н. Видяев Д.Г.
2	Календарное планирование работ по теме	6	10.02.2021	15.02.2021	Акимов В.Н. Видяев Д.Г.

Таблица 3.9. Продолжение

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
3	Изучение материалов по теме	11	16.02.2021	26.02.2021	Акимов В.Н.
4	Анализ исходных параметров	9	01.03.2021	09.03.2021	Акимов В.Н.
5	Выбор метода выполнения работы	9	10.03.2021	18.03.2021	Акимов В.Н. Видяев Д.Г.
6	Применение метода к исходным параметрам	27	20.03.2021	15.04.2021	Акимов В.Н. Видяев Д.Г.
7	Анализ результатов работы	32	17.04.2021	18.05.2021	Акимов В.Н. Видяев Д.Г.
8	Составление отчета по работе	13	19.05.2021	31.05.2021	Акимов В.Н.
ИТОГО:		110			

Диаграмма Гантта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 3.10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.10 – Календарный план-график проведения работ

Код работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Руководитель, инженер	3	■											
2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	6		■										
3	Изучение материалов по теме	Инженер	11		■	■									
4	Анализ исходных параметров	Инженер	9				■	■							
5	Выбор метода выполнения работы	Руководитель, инженер	9					■	■						

Таблица 3.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Программное обеспечение Windows	Шт	1	13000	13000
Углерод технический	Гр	20	1	20
Итого:				15965

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.3)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.4)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p, \quad (3.5)$$

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Таблица 3.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	118	118
– праздничные дни		
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_m = 38700 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 65403 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{65403 \cdot 10,4}{247} = 2753,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 2753,8 \cdot 66 = 181750,8 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_m = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,82 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{247} = 1058,43 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 1058,43 \cdot 94 = 99492,4 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведем в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	38700	0,3	1,3	65403	2753,8	66	181750,8
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,82	1058,43	94	99492,4
Итого:							281243,2

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (3.6)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	181750,8
Инженер	99492,4
Коэффициент отчислений	0,302
Итого:	84935,4

Расчитанная 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. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	15965
Основная заработная плата	281243,2
Отчисления во внебюджетные фонды	84935,4
Бюджет затрат:	382143,6

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Бюджет затрат составил 382143,6 рублей.

3.8 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:

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.7)$$

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.8)$$

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

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3	2
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3
4. Энергосбережение	0,25	5	4
5. Надежность	0,25	5	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4
Итого:	1	24	20

$$I_{\text{тп}} = 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,25$$

$$I_{\text{аналог}} = 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 3,6$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{\text{исп.}i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (3.9)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (3.10)$$

Таблица 3.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,18	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом, основываясь на показателях эффективности.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1) Потенциальными потребителями результатов исследования являются компании производящие автомобили, работающие на водородном топливе.

2) В результате проведения анализа конкурентных технических решений сделан вывод о том, что разрабатываемый метод производства таблеток

на основе углерода является наиболее предпочтительным, чем технология, используемая в производстве на данный момент.

3) Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии. Сильные стороны НТИ: безопасность при хранении и использовании, техническая простота осуществления метода, в процессе изготовления, исключена возможность засорения вакуумного оборудования, низкая стоимость компонентов, экологичность продукта. Возможности: возможность внедрения в массовые производства, возрастание спроса на технологию из-за широкой области применения, многократное использование без применения регенерации. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии.

4) Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала уровень выше среднего, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта.

5) В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

6) При планировании бюджета рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды. Бюджет затрат составил 382143,6 рублей.

7) Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

4 Социальная ответственность

На сегодняшний день 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.

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.

Производственные факторы подразделяют на вредные и опасные. Опасным называется такой производственный фактор, воздействие которого при определенных условиях приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья [35]. Вредным называется такой производственный фактор, воздействие которого на рабочего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Обзор вредных и опасных факторов на производстве

Опасные и вредные факторы на рабочем месте всегда присутствуют в условиях какого-либо производства, они классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Во время работы с оборудованием: персональная электронная вычислительная машина, гидравлический пресс, трубчатая печь, на инженера воздействуют следующие факторы:

1. Психофизические:

1.1 Физические перегрузки (статические, динамические);

1.2 Длительная, монотонная работа, требующая постоянной концентрации;

1.3 Нервно-психические перегрузки (умственное напряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

2. Физические:

2.1 Температура и влажность воздуха;

2.2 Шум;

2.3 Статическое электричество;

2.4 Электромагнитное поле низкой частоты;

2.5 Освещенность;

2.6 Наличие излучения;

2.7 Механическое воздействие.

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

Таблица 4.1 – Элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на оборудовании для прессования	—	Механическая опасность	ГОСТ 31733-2012 – Прессы гидравлические
Проведение вычислительных и графических работ на ПЭВМ	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

Таблица 4.1. Продолжение

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение вычислительных и графических работ на ПЭВМ	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность
Работа на персональной вычислительной машине	–	Пожароопасность	Пожаро- и взрывобезопасность Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-91 ССБТ
Работа с нагревательным оборудованием	–	Термическая опасность	ГОСТ Р 53682-2009 Установки нагревательные для нефтеперерабатывающих заводов
	–	Пожароопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-91 ССБТ
	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность

Анализ вредных и опасных факторов проводится на основе нормативных документов приведённых в таблице 4.1.

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

Персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте ответственным лицом – обязательные составляющие обучения персонала технике безопасности и производственной санитарии

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Перед тем, как приступить к работе, состояние здоровья устанавливают медицинским освидетельствованием.

4.2.2 Организация рабочего места оператора персональной электронно-вычислительной машины

Планировка рабочего места должна предусматривать чёткий порядок и постоянство размещения предметов и документов. Как показано на рисунке 4.1, каждый объект должен располагаться в пределах досягаемости рабочего пространства.

Оптимальное размещение компьютерной периферии следующее:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа).

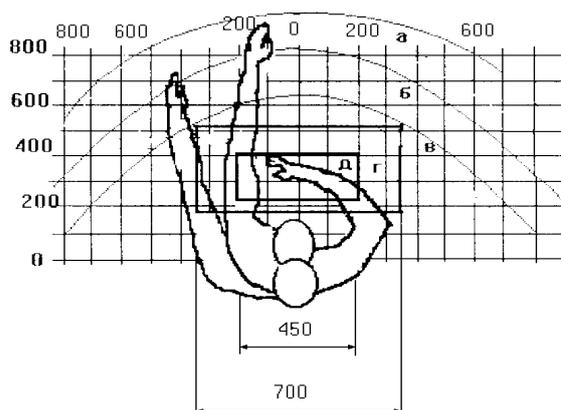


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:
 а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

При проектировании стола для работы с ПЭВМ учитывают следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола составляет 680-800 мм. Высота рабочей поверхности для клавиатуры – 650 мм. Ширина и длина рабочего стола не менее 700 мм и 1400 мм соответственно. Пространство для ног составляет не менее 600 мм по высоте, ширина – не менее 500 мм; глубина на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Монитор должен располагаться на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Так же должна присутствовать возможность регулировки яркости и контрастности экрана и регулировка поворота монитора по высоте и углам наклона.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° . Клавиатура должна быть удобной для работы с ней. Например, можно использовать механическую клавиатуру с вогнутыми клавишами и символами на них контрастного цвета по отношению к цвету самой клавиатуры.

Рабочее кресло должно быть регулируемым по высоте и углу поворота, а также – по углу наклона спинки сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм.

При однообразной умственной работе выбирают неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание. 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.

Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [35] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

Для оздоровления и поддержания в норме воздушной среды помещения необходимы правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека - не менее 30 м³ в час; при объёме помещения более 40 м³ допускается естественная вентиляция, в том случае если нет дополнительных источников выделения вредных веществ.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. 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.

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. 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 [36] 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.

Для уменьшения воздействия электромагнитного излучения на организм необходимо выполнять следующие меры:

- расстояние до монитора должно составлять не менее 50 см;
- не допускается использование мерцающего монитора (частота кадров монитора не менее 70 Гц);
- расположение верхнего края монитора должно располагаться на уровне глаз;
- регулярные перерывы в работе.

Источником ионизирующего излучения в компьютере является дисплей. Под влиянием данного излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета. 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 5 см от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть вызвана недостатком света в рабочем помещении или чрезмерной освещенностью, а также неправильным направлением света. Нельзя допускать освещение экрана направленными яркими источниками света. Помещения с ЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Для данного типа работ минимальная освещенность в лаборатории должна составлять 300-500 лк.

4.4 Термическая безопасность при работе с трубчатой печью

При работе с трубчатой печью можно получить термические ожоги различной степени тяжести. Перед началом работы оператору необходимо воспользоваться средствами индивидуальной защиты. Оператор должен надеть выданную спецодежду, обувь и рукавицы.

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.

4.5 Пожарная и взрывная безопасность

Помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В [37], т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Для предупреждения возникновения пожара необходимы соблюдение следующих правил пожарной безопасности на рабочем месте, проведение противопожарного инструктажа рабочих и служащих.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения [38].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания);
- правильное содержание зданий и территорий (предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, 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.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководству (дежурному).
- Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
- Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

4.6 Требования техники безопасности во время работы с гидравлическим прессом

При работе с прессом существует вероятность получения травм в результате защемления, удара, осколочного попадания.

Для обеспечения безопасности во время работы с прессом оператор обязан соблюдать и выполнять следующие правила [39]:

- Выполнять указания руководителя.
- Непрерывно наблюдать за давлением и уровнем масла в прессе.

– Вести наблюдение за герметичностью всех соединений технологических трубопроводов, шлангов и гидроцилиндров.

– Отсоединять шланги, только убедившись, что арматура отключена, и давление по манометру полностью сброшено.

Во время работы не разрешается:

– Вести у пресса какие-либо работы, не относящиеся к прессованию.

– Производить ремонт и подтягивать резьбовые соединения оборудования, находящегося под давлением.

– Присутствие посторонних людей.

– 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.

4.7 Требования безопасности при работе с электрооборудованием

При работе с ЭВМ и трубчатой печью существует угроза поражения электрическим током. Не следует работать с оборудованием в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящих пыли или полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования [36].

Оператор ЭВМ и трубчатой печью работает с электроприборами: компьютером и периферийными устройствами.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям под напряжением в случае их неисправности;
- 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).

Действие электрического тока на организм человека своеобразно и носит разносторонний характер. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на различные системы организма. При этом могут возникнуть нарушения деятельности жизненно важных органов человека: мозга, сердца и легких.

Все виды действия электрического тока на организм человека можно объединить в два основных: электрические травмы и электрические удары.

Электрические травмы – это местные поражения тела: ожоги, металлизация кожи, механические повреждения организма.

Электрический удар вызывает возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе мышц сердца

и легких. В результате могут возникнуть различные нарушения жизнедеятельности организма и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Для обеспечения электробезопасности проводят следующие мероприятия: 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; изолирование токоведущих частей аппаратуры с помощью корпусов, не проводящих ток.

Список использованных источников

1. Долгополов С. Ю.. Введение в ядерно-водородную энергетику: учебное пособие / С. Ю. Долгополов, И. В. Ломов, И. В. Шаманин; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: ТМЛ-Пресс, 2008. – 186 с.: ил.. – ISBN 5-91302-049-9.
2. Малышенко, С. П. Сегодня и завтра водородной энергетики / С. П. Малышенко, Ф. Н. Пехота // Энергия: экономика, техника, экология научно-популярный и общественно-политический журнал: / Российская академия наук (РАН) . – 2003. – № 1. – С. 2-8. – ISSN 0233-3619.
3. Кузык Б. Альтернатива, которой нельзя не воспользоваться // Мировая энергетика. – 2007. – № 10 (46). – С. 17-19.
4. Зайченко В. М. Комплексная переработка природного газа с получением водорода для энергетики и углеродных материалов широкого промышленного применения / В. М. Зайченко, Э. Э. Шпильрайн, В. Я. Штеренберг // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3. – С. 51-57.
5. Макашкин Л. Л. Освоение новых источников энергии // В мире науки. – 2006. – № 9. – С. 86-89.
6. Рязанцев, Е. П. Нарботка, хранение и использование водорода на АЭС / Е. П. Рязанцев, А. Ф. Чабак, А. И. Ульянов // Атомная энергия теоретический и научно-технический журнал: / Российская академия наук ; Министерство РФ по атомной энергии, ядерного общества . – 2006. – Т. 101, вып. 6. – с. 420-426. – Библиогр.: 8 назв.. – ISSN 0004-7163.
7. Чертов В. Водородная энергетика и высокие технологии // Драгоцен. мет. Драгоцен. камни. – 2006. – № 4. – С. 152-154.
8. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справ. изд. / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовкин, Л.Н. Смирнов; Под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. М.: Химия, 1989. – 672 с
9. Sorensen B. Renewables and hydrogen energy technologies for sustainable development // Int. J. Energy Res. – 2008. – Vol. 32, № 5. – P. 367-368.

10. Little M. Electrical integration of renewable energy into stand-alone power supplies incorporating hydrogen storage / M. Little, M. Thomson, D. Infield // *Int. J. Hydrogen Energy*. – 2007. – Vol. 32, № 10-11. – P. 1582-1588.
11. Kundu S. Partially hydrogen-ated. Much of the necessary infrastructure for a hydrogen economy is already developing / S. Kundu, T. Mali, M. Fowler // *IEEE Eng. Manag. Rev.* – 2006. – Vol. 34, № 4. – P. 54-55.
12. Performance of a stand-alone renewable energy system based on energy storage as hydrogen / K. Agbossou [et al.] // *IEEE Trans. Energy Convers.* – 2004. – Vol. 19, № 3. – P. 633-640.
13. Пономарев-Степной Н. Н. Атомно-водородная энергетика - пути развития / Н. Н. Пономарев-Степной, А. Я. Столяревский // *Энергия: Экон., техн., экол.* – 2004. – № 1. – С. 3-9.
14. Дударев, В.И. Получение и исследование углеродных адсорбентов из длиннопламенных углей / В.И. Дударев, В.А. Домрачева, Ковальская Л.В. [и др.] // *Химия твердого топлива*. – 1999. – №1. – С. 36-39.
15. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л.: «Химия», 1984. – 216 с.
16. Товбин, Ю.К. Молекулярная адсорбция в пористых телах / Ю.К. Товбин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 624 с.
17. Можегова Ю.Н. Устройство автоматизированного неразрушающего контроля механических свойств изделий машиностроения // Сб. науч. трудов Междунар.научн.-техн. конф. «Производительность и надежность технологических систем в машиностроении». Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. С. 234-238.
18. Можегов Н. А. Автоматические средства измерений объёма, уровня и пористости материалов / Н. А. Можегов. — Москва: Энергоатомиздат, 1990. — 120 с.: ил.. — Библиотека по автоматике. Вып. 674. — Библиогр.: с. 114-116.. — ISBN 5-283-01508-4.

19. Когановский, А.М. Адсорбция растворенных веществ. / А.М. Когановский, Т.М. Левченко, В.А. Кириченко. – Киев: Изд-во «Наукова думка». 1977. 223 с.
20. Черемской, Петр Григорьевич. Методы исследования пористости твердых тел / П. Г. Черемской. — Москва: Энергоатомиздат, 1985. — 111 с.: ил.: 21 см.
21. Суринова, С.И. Пути увеличения микропористости карбонизата из спекающихся углей / С.И. Суринова // Химия твердого топлива. – 1997. – №4. – С. 43-46.
22. Морозов, Самуил Беркович. Влияние пористости на контактирование шероховатых поверхностей / С. Б. Морозов. — Москва: Машиностроение, 1991. — 48 с.. — Библиогр.: с. 42-43.. — ISBN 5-217-01895-X.
23. Суринова, С.И. Формирование структуры углеродных адсорбентов на основе газового угля / С.И. Суринова, М.А. Костомарова // Химия твердого топлива. – 1985. – №4. – С. 119-123.
24. Sartape, Ashish. Removal of Bi (III) with adsorption technique using coconut shell activated carbon / Ashish Sartape, Aniruddha Mandhare, Prathmesh Salvi // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2012. – V. 20. – P. 768-775.
25. Передерий, М.А. Очистка сточных вод на буроугольных адсорбентах / М.А. Передерий, В.А. Казаков // Химия твердого топлива. – 1994. – №6. – С. 79-85.
26. Соркин, Э.И. Углеродные адсорбенты из отходов низкотемпературного вихревого сжигания бурого угля на ТЭЦ / Э.И. Соркин, Р.П. Кочеткова, Е.В. Суворова [и др.] // Химия твердого топлива. – 1992. – № 2. – С. 128131.
27. Егошина Ю.А., Поцелуева Л.А. Современные вспомогательные вещества в таблеточном производстве // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 10. – С. 30-33;
28. Попильский Р.Я., Пивинский Ю.Е. Прессование порошковых керамических масс. М.: Metallurgy, 1983, 176 с.

29. Тамаркина, Ю.В. Свойства твердых продуктов термоллиза бурого угля, инпрегнированного щелочью / Ю.В. Тамаркина, Л.А. Бован, В.А. Кучеренко // Химия твердого топлива. – 2008. – № 4. – С. 13-18.

30. Хабарова, Т.В. Влияние предварительной окислительной модификации на свойства адсорбентов из ископаемых углей / Т.В. Хабарова, Ю.В. Тамаркина, Т.Г. Шендрик, [и др.] // Химия твердого топлива. – 2000. – №1. – С. 45-52.

31. Berger, Jerzy Development of porosity in brown coal chars on activation carbon dioxide / Jerzy Berger, Teresa Siemieniowska, Kazimierz Tomków // Fuel. – 1976. – V. 55. – № 1. – P. 9-15.

32. 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.

33. Кузнецов, А.В. Экспериментально-теоретическое обоснование выбора способа прессования и вспомогательных веществ в технологии таблетированных форм: Дис. . д-ра фармац. наук. / А.В. Кузнецов Пятигорск, 2002. - 281 с.

34. Дараган, А.Г. Физика таблетирования и основные технологические процессы получения таблеток / А.Г. Дараган // Хим.-фармац. пр-во (Обзор, информ.). -М.: ЦБНИМинмедпром., 1983.-Вып. 10.-38 с.

35. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 № 181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – [С. 4]

36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.

37. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983 01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.

38. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность.

39. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 6 с.

Заключение

В связи с загрязнением воздуха и изменением климата, возрастает потребность в экологически чистых источниках энергии. К таким можно отнести водород, на производство которого требуется совершить определенные затраты энергии, и на сегодняшний день эта энергия сопоставима с получаемой во время сгорания водорода, поэтому необходима модернизация методов его получения. Преимущества водородного топлива состоят в возможности его применения, как в традиционных бензиновых двигателях, так и в электрических топливных ячейках. К недостаткам можно отнести большую химическую активность, что накладывает ограничение на условия его хранения.

В процессе исследований установлено, что одним из перспективных способов хранения водорода является сорбция углеродными материалами, в частности, техническим углеродом, который имеет хорошо развитую удельную поверхность.

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

1. Проведен обзор и сравнение различных видов топлива, наиболее безопасных и рациональных методов хранения водорода, свойств углеродных материалов, используемых при сорбции водорода; способов обеспечения развитой внутренней поверхности таблеток, а также веществ, выступающих в роли пластификаторов при фабрикации углерода. Исходя из результатов исследований, основываясь на оптимальности параметров и экономической эффективности, в качестве материала сорбента был выбран технический углерод.

2. Установлено, что основными факторами влияющих на пористость углеродных таблеток при их производстве являются давление прессования, вводимые в состав пресс-порошков добавки и режимы термообработки. Произведен выбор вспомогательных материалов (стеарата натрия и фторопласта), давлений прессования и режимов нагрева.

3. На основании экспериментальных данных выведена формула, описывающая зависимость плотности получаемых образцов от величины приложенного давления. Показано, что значения плотности, рассчитанные с помощью полученной формулы, хорошо согласуются с данными экспериментальных исследований.

4. Проведен теоретический расчет объема пор изготовленных таблеток. Установлено, что пористость исследованных образцов составляет 36 – 44% и в результате нагрева у таблеток из чистого углерода и с фторопластом уменьшается на 3 – 11%. Показано, что у таблеток с добавлением стеарата натрия пористость после отжига увеличивается, и достигает 48% для давления прессования 20 МПа, что, вероятно, вызвано выходом газообразных продуктов в процессе термического разложения стеарата.

5. Проведен анализ размера пор таблеток на основе углерода методом пузырька. Установлено, что основное влияние на максимальный размер пор оказывает давление и с его увеличением от 20 до 100 МПа диаметр пор уменьшается, в среднем, в два раза с 50 до 25 мкм. Показано, что явной зависимости максимального диаметра пор от состава для исследованных композиций не наблюдается.

Приложение А

(справочное)

Influence of the fabrication conditions of carbon-based tablets on their porosity. **(Влияние условий фабрикации таблеток на основе углерода на их пористость)**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Акимов Василий Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОТЯЦ	Видяев Дмитрий Геннадьевич	д.т.н., профессор		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Коротченко Татьяна Валериевна	к. ф. н., доцент		

1 Introduction

Energy systems are facing a transition towards technologies that allow decreasing greenhouse gas emissions in order to respond the huge challenge of climate change. Hydrogen is increasingly being considered as a potential player in national and international strategies to be applied in different sectors from industry to transport. The specific hydrogen strategies and roadmaps are being developed by major world economies, including Japan, Germany, Australia and the European Union. Research projects and industrial applications are addressing different aspects of the hydrogen pathway, which include generation, transmission, storage, distribution and final uses.

Hydrogen is already a commodity that is being used as a feedstock in different industrial applications, ranging from refineries to ammonia and methanol production. The global demand of pure hydrogen increased from less than 20 Mt in 1975 to more than 70 Mt in 2018. Yet, current hydrogen demand is mostly supplied by fossil fuels, including natural gas, oil and coal, since they represent today the cheapest pathway, with hydrogen costs ranging from 1 to 3 USD per kg.

However, hydrogen has also been proposed as a potential energy carrier to support a wider deployment of low-carbon energy, mainly produced from renewable energy sources (RES). Different waves of enthusiasm have supported the narrative of low-cost clean hydrogen at the basis of an alternative to fossil fuels, mainly exploiting fuel cells applications in the transport sector. Previously, three different moments have seen a scientific and industrial interest in the potential of hydrogen technologies. The first time happened during the oil crises of the 1970s, as the world was looking for alternative solutions to face potential oil shortages and tackling environmental problems such as local pollution and acid rains. Research programs and activities on hydrogen were implemented, but they did not lead to significant effects since due to new oil discoveries the oil prices eventually decreased and the fear of shortages disappeared. Other two waves of enthusiasm happened in the 1990s and in the 2000s, with rising concerns related to climate change issues and peak oil scenarios. Again,

low oil prices limited the diffusion of hydrogen technologies, and so did the economic and financial crisis of the end of 2000s.

Today, a growing consensus is building up again on the potential of hydrogen, mostly due to a stronger climate agenda with challenging targets. Clean hydrogen is a part of a group of technologies that need to be deployed across final uses to ensure a transition towards climate-friendly energy sources. Hydrogen technologies are also being considered as an opportunity to develop national industrial sectors, in a recovery perspective after the COVID-19 pandemic.

Hydrogen generation technologies are increasingly being codified by referring to a scheme based on different colors. The main colors that are being considered are the following:

- grey (or brown/black) hydrogen, produced by fossil fuels (mostly natural gas and coal), and causing the emission of carbon dioxide in the process;
- blue hydrogen, through the combination of grey hydrogen and carbon capture and storage, to avoid most of the emissions of the process;
- turquoise hydrogen, via the pyrolysis of a fossil fuel, where the by-product is solid carbon;
- green hydrogen, when produced by electrolyzers supplied by renewable electricity (and in some cases through other pathways based on bioenergy, such as biomethane reforming or solid biomass gasification);
- yellow (or purple) hydrogen, when produced by electrolyzers supplied by electricity from nuclear power plants.

In addition to these colors, different nomenclatures are often in use when referring to groups of hydrogen pathways, including «clean hydrogen», «low-carbon hydrogen», «renewable hydrogen». These definitions may sometimes be confusing, since there is no unique standard to provide a common reference. In this paper, the term low-carbon hydrogen includes green, blue, turquoise and yellow hydrogen. Yet, it is important to remember that also within each «color», there may be a significant variability of carbon intensity, due to a large number of parameters. In some cases, hydrogen may be even carbon-negative, such as with pathways that involve bioenergy.

While each technological pathway presents opportunities and limitations, it is important to remember that the choice of a specific solution is often related to additional aspects, including geopolitical choices based on national strategies driven by the availability of resources, energy security concerns or the support to specific industrial sectors. Moreover, cross-border hydrogen trade, due to the need of a very strong decarbonization of energy systems in the next decades, can become a potential game changer in global energy geopolitics.

A widespread and effective development of green hydrogen requires a notable amount of renewable electricity, which may be a problem in the short term, since RES are already needed to decarbonize existing electricity demand. For this reason, blue hydrogen can represent a useful option on the short and medium term, by helping in paving the way for green hydrogen at a later stage.

2. Technological Aspects

2.1. Hydrogen Generation

Although hydrogen is the third most abundant chemical element on Earth's surface, after oxygen and silicon, it is not available in its pure form, and thus it cannot be considered an energy source. Conversely, hydrogen is an energy carrier that should be produced from other sources. Although hydrogen generation from water through electrolysis dates back to the 19th century, today's hydrogen demand is mostly fulfilled by other processes based on fossil fuels (natural gas, coal and oil), including steam methane reforming, autothermal reforming, partial oxidation and coal gasification. Those processes are usually referred to as grey hydrogen pathways. When coupled to, they can be transformed to low-carbon solutions, and they are called blue hydrogen pathways.

Conversely, hydrogen generation from water electrolysis, which was abandoned due to higher costs, can be coupled to power generation from RES to produce green hydrogen. While current costs remain higher than fossil-based solutions,

the expected learning curves for both electricity generation and electrolyzers could make it a viable solution in the next decades.

Other studies report comparable values and future estimations. The International Renewable Energy Agency (IRENA) estimates a levelized cost of hydrogen by 2050 as low as 0.95 USD per kg when produced from wind electricity, and as low as 1.2 USD per kg when based on solar electricity.

In addition to green and blue hydrogen pathways, it is important to remark that other options may be considered, in particular in specific countries or regions. Hydrogen production from nuclear electricity is rarely mentioned in European strategies, but it may become a viable alternative in different world regions, such as China and Russia. Other solutions for renewable hydrogen may be based on biomass gasification or based on biogas feedstock, although these solutions may be harder to scale-up than electrolysis.

2.1.1. Green Hydrogen

The green hydrogen pathway is defined as the combination of power generation from renewable sources and water electrolysis. By supplying electricity and pure water to an electrolyzer, output flows of hydrogen and oxygen are produced.

Different technologies are available for water electrolysis. Alkaline electrolyzers represent the state of the art, and proton exchange membrane technologies are in a demonstration phase, while solid oxide electrolyzers are still in an R&D pipeline. Proton exchange membrane electrolyzers may provide a range of advantages for a comparable energy consumption, including higher output pressures, a better partial load range, and quicker startup and load variations. Considering global electrolyzers deployment, annual capacity additions have reached 25 MW in 2019, but announced projects are scaling up quickly, and they will reach 1.5 GW of new capacity in 2023, with the largest project accounting for 540 MW alone.

Current industrial solutions show a range of electricity consumption depending on the size and the type of electrolyzer, as well as on the output pressure that is

considered. Average electrolysis efficiency, defined as the ratio of hydrogen energy content (measured as higher heating value) and electrolysis power consumption, is in the range 65 % – 70 % (when considering output pressures of 10 – 30 barg).

An additional issue related to electrolysis is water consumption. Pure water consumption is generally in the range of 10 – 15 L per kg of hydrogen output, and input water needs to be deionized. In the absence of freshwater sources, options include seawater desalination or wastewater recovery. Different technologies are already commercially deployed for seawater desalination, and they could be coupled with electrolysis with a very limited increase of energy consumption. However, water availability in non-maritime sites may become a serious issue in many world regions, especially due to the fact that water scarcity is a serious concern that will become even worse due to climate change. This aspect may become a critical barrier in the success of green hydrogen projects in areas that have a strong solar potential, such as deserts.

The generation cost of green hydrogen is generally considered in the range 2.5 – 4.5 USD per kg, although other sources estimate higher values. The two most significant components of the cost are the investment cost of the electrolyzer and the electricity cost, which represents around 90 % of the OPEX costs. Current CAPEX costs for alkaline electrolyzers are around 750 EUR/kW (around 900 USD/kW), and they are expected to decrease to around 500 EUR/kW (around 600 USD/kW) by 2025. Experts estimate that around 80 % of the cost is attributable to OPEX (when considering 4000 operational hours per year), thus the cost of electricity is a crucial driver of the green hydrogen cost.

However, a trade-off exists between the electricity price and annual operational hours. Business models based on exploiting electricity curtailments in power networks can benefit from zero or even negative electricity prices, but for a very limited number of hours, with an unsustainable weight of capex. Moreover, Cloete et al. results suggest that, depending on the location of electrolyzers, greater capital expenditures may be also required for hydrogen pipelines and storage infrastructure (to handle intermittent hydrogen production) as well as electricity transmission networks (to transmit

electricity surplus to electrolyzers). Additional potential constraints related to the current configuration of power systems are reported by other scholars.

Conversely, operating an electrolyzer on grid electricity means paying additional taxes and levies, in addition to the need of buying green certificates to ensure that renewable electricity is used. The best solution seems to integrate hydrogen production to dedicated solar or wind power plants, which can reach acceptable annual load factors in selected locations. In this case, favorable learning curves for both power generation from res and electrolyzers, also driven by a manufacturing upscale, may bring significant cost reductions. bnep estimates green hydrogen prices as low as 1 – 2.6 usd by 2030 and 0.8 – 1.6 usd by 2050. However, other studies show that in some contexts green hydrogen generation can be already competitive today compared to the traditional production via fossil fuels. Some scholars also propose to combine solar and wind energy to obtain lower generation prices.

It is important to remember that those costs are only taking into account hydrogen generation. There are additional costs related to the transmission, storage and distribution. In some cases those costs can reach even half of the final cost for the users.

2.1.2. Blue Hydrogen

Blue hydrogen is based on the idea that the current processes used to produce hydrogen from fossil fuels could be coupled to ccs technologies to decrease most of their ghg emissions. While this approach seems to be less costly than shifting towards green hydrogen, it is important to remember that ccs implementation may involve technical barriers, in additions to problems related to social acceptability.

There appears to be no standard definition of the CO₂ capture rate that is required to shift the definition from grey to blue hydrogen. Most studies cite maximum capture rates in the range 70 % to 95 %, depending on the technology and the stages in which CO₂ capture is applied. When considering blue hydrogen based on natural gas, it is important to remember the additional impact that is caused by methane leakage in

the upstream phases. Although difficult to be precisely quantified, this aspect is often overlooked in research studies.

Blue hydrogen pathways have the advantage of building on existing industrial experience from grey hydrogen, and in some cases retrofitting of existing plants could be performed by adding ccs systems. However, specific conditions need to be met to ensure an effective and durable storage of CO₂. Often an additional infrastructure may be needed to connect the generation facility with the storage site, which may not be available on place. A dedicated CO₂ infrastructure may increase significantly the total cost, an aspect that is difficult to generalize since it depends on each plant. In addition, the operation of a ccs system may decrease the energy efficiency of a smr process by 5 % – 14 %.

Also for blue hydrogen pathways, water consumption is an aspect that is often overlooked. While water consumption is often associated to the electrolysis process, also blue hydrogen pathways consume a significant amount of water, and in some cases even higher. When comparing embodied water following a life cycle inventory, results show that water consumption per kg of H₂ can be as high as 24 L for smr and 38 L for coal gasification.

Finally, an additional pathway that is sometimes referred as turquoise hydrogen, and which is still at a trl of 3 – 5, is the pyrolysis of methane. Different technological solutions are currently under development, in several locations worldwide, including in Australia, Germany and France. In the process, natural gas is used as feedstock, while the energy consumption would come from electricity, presumably from low-carbon sources. Methane is split at high temperatures into hydrogen and solid carbon (also called carbon black), which would be easier to store and manage than gaseous CO₂. In addition, solid carbon can have industrial uses, and thus be seen as a resource instead of a by-product. The current industrial market for carbon black, including applications in tyres production and inks for printers, could support up to 5 Mt per year of blue hydrogen, around 7 % of the current global market of pure hydrogen.

2.2. Hydrogen Transportation and Storage

The transportation of hydrogen is a crucial aspect in the sustainability of the supply chain, both in environmental and economic perspectives. Hydrogen transport could require significant energy consumption, either to compress or liquefy it, or to convert it to other chemicals that are easier to handle, such as ammonia or other liquid organic hydrogen carriers. Another option, although mostly in early stages of development, is the possibility of blending hydrogen in the existing natural gas grids.

An additional aspect of the hydrogen supply chain is its storage, which is required at different levels, and needs to be properly addressed to respect safety procedures and minimize energy consumption and losses.

2.2.1. Hydrogen Blending in Natural Gas Grids

A potential option to gradually upscale hydrogen pathways is the integration in existing natural gas networks. This is being proposed in different European countries to exploit existing assets and start to decrease the carbon intensity of natural gas by using clean hydrogen. However, such strategy has the strong limitation of not fully exploiting the higher value associated with pure hydrogen, by mixing it with natural gas to be used in combustion processes. Thus, its economic sustainability may be hard to prove, even when accounting for environmental benefits.

2.2.2. Long-Distance Transport

The cheapest option to transport hydrogen over medium distances is often via pipeline, and there are already hydrogen networks that serve industrial facilities in different countries. However, since pipeline transportation costs increase linearly with the distance, over very long distances ship transport becomes less expensive (in addition to other advantages related to flexibility, etc.). As for natural gas, the economic sustainability of pipelines is improved by high volumes and a continuous

supply over several years. This results in the need of long-term planning and a reduced flexibility. In contrast, shipping offers a larger flexibility, thanks to the possibility for a single exporter to supply several countries, provided that they have the proper infrastructure. This aspect has fostered the rise of lng in the last years, and a similar logic could apply to hydrogen in the future.

Different studies compare available alternatives for seaborne hydrogen transport, considering environmental and economic aspects. Some studies present detailed assessments focusing on specific routes, including Norway to Europe or Japan, Australia to Japan and Korea, Chile-Japan, and Argentina-Japan. Hydrogen transport in ships require the highest possible energy density per unit of volume, to avoid excessive costs. Since hydrogen cannot be transported in ships in its gaseous forms, other solutions are being considered.

2.2.4. Storage

Hydrogen storage needs to be ensured at different levels of the supply chain, and technologies and solutions depend on the physical form of hydrogen (liquid/gaseous), its volume, the duration of the storage and other operational parameters that need to be guaranteed. A major distinction arises between the storage of hydrogen required to operate its supply chain, and the large seasonal storage of hydrogen to cope with the variability of res power plants.

The storage of hydrogen along the supply chain includes its storage at terminals, such as ports, at refuelling stations and also on the different vehicles that are used along the pathway, including ships, trucks, and also on the vehicles that use it for propulsion.

The storage of gaseous hydrogen at high pressure is generally performed in vessels of different materials, including steel, glass fiber, carbon fiber and polymers. There are currently 4 types of vessels, depending on the type of material that is used, resulting in variable weight, pressures and costs. Operating pressures vary in the range 50 – 100 MPa, and for a given pressure stationary solutions are generally designed by

minimizing the price, while for on-vehicle storage systems both weight and cost are considered as design parameters.

Another option is to store hydrogen in its liquid state, but this solution is generally limited to situations in which hydrogen is already available in liquid form, since ad-hoc liquefaction entails significant energy consumption. The liquefaction of hydrogen in large industrial facilities is generally consuming 12.5 – 15 kWh of electricity per kg of H₂, which is a significant share compared to hydrogen's lower heating value of 33.3 kWh per kg. Technological improvements could reduce electricity consumption to 7.5 – 9 kWh per kg of H₂, which is still around one quarter of the hydrogen's energy content.

Liquid H₂ storage is usually affected by boil-offs of 0.2 % – 0.3 % per day. The evaporation of hydrogen, which is caused by different phenomena, leads to the increase of the pressure in the tank, and thus needs to be expelled to avoid safety issues. Liquid hydrogen storage in transport systems, such as trucks and ships, shows higher levels of boil-off, but the hydrogen can be recovered to power the vehicle. Different solutions have been proposed to limit boil-off, including vacuum insulation, additional refrigeration systems or liquid nitrogen cooling.

The storage of hydrogen through other chemicals, such as ammonia, presents lower challenges in terms of operational parameters (i.e., temperature and pressure), and this is the main reason that justifies the additional supply chain steps and energy consumption required by conversion processes. Ammonia can be stored in liquid state at 25 °C and moderate pressure (10 bar), by using standard steel tanks. It includes various compounds and chemical solutions, but their common feature is that they can be stored and handled in liquid state at ambient temperatures.

Small and medium scale storage is required to operate the hydrogen supply chain. Conversely, large scale seasonal hydrogen storage has been proposed as a solution to optimize the power generation from res, especially for those that show significant variability of output over the year in some regions, such as solar. Seasonal hydrogen storage requires high storage capacities and its operation involves a low

number of cycles over the year. Thus, its economic profitability is related to low energy losses over long storage duration and a low cost of storage capacity.

Different underground options exist for hydrogen storage, including salt caverns, aquifers, or depleted oil and gas reservoirs. Currently, pure hydrogen is being stored in four locations worldwide.

An additional option for hydrogen storage, which is encountering a high interest in several research initiatives, is the possibility of exploiting a range of adsorbent materials to decrease the storage pressure of gaseous hydrogen. Solid-state hydrogen storage materials are generally grouped in two classes: metal hydrides, which store hydrogen via chemical bond formation, and porous materials, which involve the physical adsorption of hydrogen. The main research goal is to further minimize the weight of these materials, to compete with gaseous hydrogen storage. Current applications are still limited to specific cases for which the weight is not a critical parameter, such as stationary storage or forklifts. Further research is investigating the possibility of nanosizing different materials, with the aim of controlling the binding strength of hydrogen, thus avoiding high temperatures and pressures.