

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

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**
НОЦ И.Н.Бутакова

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАВШЕГО РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА

УДК 621.039.75-032.36

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Калтаев Альберт Жанатович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	В.Е. Губин	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.В. Гузырь	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	И.Л. Мезенцева	—		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Ю.К. Атрошенко	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.А. Вагнер	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг	Воробьев А.В.	к.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке и иностранном(ых) языке(ах) для академического и профессионального взаимодействия	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
9	Способен решать задачи профессиональной деятельности с использованием базовых знаний естественнонаучных дисциплин и информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
10	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт для реализации исследований в области создания, модернизации и эксплуатации ядерных энергетических установок	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
11	Способен проводить математическое моделирование физических процессов и аппаратов технологического оборудования АС, в том числе на базе пакетов автоматизированного проектирования и исследований	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
12	Способен формулировать цели и задачи исследований в области создания и повышения эффективности эксплуатации АС, выбирать методику и средства проведения научных исследований, выполнять и анализировать результаты НИОКР, участвовать в испытаниях оборудования	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
13	Способен участвовать в организации безопасной экономической эксплуатации реакторной установки, оборудования и технологических систем энергоблока атомной электростанции, анализировать технологические процессы, режимные ограничения, алгоритмы управления и защиты АС, проводить контроль параметров сред	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
14	Способен участвовать в проектировании элементов оборудования и технологических систем атомных станций с учетом требований ядерной, радиационной, пожарной, промышленной и экологической безопасности и с использованием современных информационных технологий	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
15	Способен применять и разрабатывать техническую документацию в соответствии с требованиями государственных, отраслевых и ведомственных стандартов и осуществлять проектно-конструкторскую деятельность в соответствии с техническим заданием в области профессиональной деятельности	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
16	Способен проводить технико-экономический анализ и оценку конкурентоспособности и экономической эффективности проектируемых систем, оборудования и АС в целом	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
17	Способен анализировать и рассчитывать ядерно-физические и нейтронно-физические процессы термодинамические, теплогидравлические, физико-химические и технологические процессы на атомной станции	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
18	Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности,	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	организовывать мероприятия по обеспечению ядерной, радиационной, технической, пожарной безопасности, выполнению требований охраны труда в процессе производства электрической и тепловой энергии на атомных станциях, в том числе при обращении с ядерным топливом	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
19	Способен организовать работу малых коллективов исполнителей, планировать работу персонала, разрабатывать оперативные планы работы первичных производственных подразделений, организовывать рабочие места	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
20	Способен участвовать в проведении испытаний основного и вспомогательного оборудования атомных станций и ядерных энергетических установок, проводить физические эксперименты на этапах физического энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
21	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности, выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
22	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач в сфере ядерной энергетики и технологий, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников
23	Способен анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС (и ЯЭУ) применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования работодателей к компетенциям выпускников

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

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**
НОЦ И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
А.В. Воробьев

(Подпись)

(Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5052	Калтаеву Альберту Жанатовичу

Тема работы:

**Экспериментальные исследования низкотемпературных способов термической
утилизации отработавшего радиоактивного графита**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

16.12.2020 №351-38/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

24 января 2021 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования низкотемпературные способы утилизации реакторного графита. Основные требования к методу утилизации: <ul style="list-style-type: none">• экологически приемлемый• повышенная надежность и безопасность;• высокие технико-экономические показатели.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Рассмотрение различных методов утилизации.2. Обоснование термической утилизации.3. Проведение экспериментов по термической утилизации реакторного графита.4. Анализ полученных данных.5. Выводы по полученным результатам.

исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	6. Оценка стоимости проведения НИР. 7. Анализ социальной ответственности проведения НИР. 8. Разработка системы автоматического регулирования системы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Функциональная схема КИП – 1 л. форм. А4.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	В.В. Гузырь, доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	И.Л. Мезенцева, ассистент ООД ШБИП
Автоматизация технологических процессов	А.Ю. Атрошенко, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24 июня 2020
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	В.Е. Губин	к.т.н., доцент		24.06.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Калтаев Альберт Жанатович		24.06.20

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

Студенту:

Группа	ФИО
5052	Калтаеву Альберту Жанатовичу

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость расходных материалов 2. Стоимость расхода электроэнергии 3. Норматив заработной платы
4. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Тариф на электроэнергию 2. Коэффициенты для расчета заработной платы
5. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисления во внебюджетные фонды (30%) 2. Расчет дополнительной заработной платы (12%)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Бюджет научно – исследовательской работы (НИР).
---	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения и бюджет НИР 2. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.10.20
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.В. Гузырь	к.э.н., доцент		24.10.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	А.Ж. Калтаев		24.10.20

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5052	Калтаев Альберт Жанатович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Бутакова
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Тема ВКР:

Экспериментальные исследования низкотемпературных способов термической утилизации отработавшего радиоактивного графита	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Термическая утилизация реакторного графита в окислительной и инертной среде. В качестве исходного образца использовался не облученный реакторный графит. Образец подвергался нагреву с постоянной скоростью в термическом анализаторе при постоянной продувке смесью газов воздух/аргон.</p> <p>Данный метод рассматривается как способ утилизации отработавшего графита после вывода из эксплуатации реакторов типа РБМК.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</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. 	<p>«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 N 197-ФЗ. 2001. № 1.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отклонение показателей микроклимата; - Превышение уровня шума; - Недостаточная;

	освещенность рабочей зоны Опасные факторы: - Опасность и вредность воздействия газовых компонентов
3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: выбросы СО и СО ₂
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: стихийные бедствия, полное или частичное внезапное обрушение здания, теракт Наиболее типичная ЧС: пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.10.20
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	–		24.10.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5052	Калтаев Альберт Жанатович		24.10.20

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 страниц, 21 рисунок, 25 таблиц, 93 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: реакторный графит, термическая обработка, радиоуглерод, пиролиз, газификация, дожигание СО, утилизация ТРО, активирующая добавка, ацетат меди.

Объектом исследования являются низкотемпературные методы утилизации реакторного графита.

Цель работы – сравнение термической обработки графита в различных атмосферах.

В процессе исследования на исходный образец графита наносилась активирующая добавка ацетат меди. Далее проводились эксперименты по термической обработке реакторного графита в смеси газов воздуха и аргона.

В результате исследования было установлено, что влияние состава газа уменьшило температуру начала окисления на 150 °С. Активирующая добавка снизила температуру окисления в интервале от 50 до 100 °С в зависимости от состава газа.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	16
1. Методы очистки и утилизации радиоактивного графита	20
1.1 Утилизация после иммобилизации в инертной матрице	20
1.2 Утилизация после покрытия и пропитки	21
1.3 Сжигание	22
1.4 Паровой риформинг	23
1.5 Химическая обработка	23
1.6 Термическая обработка	24
1.7 Сравнение различных методов	27
2. Особенности термической обработки реакторного графита	29
2.1 Термическая обработка в окислительной среде	30
2.1.1 В атмосфере диоксида углерода	30
2.1.2 В атмосфере водяного пара	31
2.1.3 В атмосфере воздуха	37
2.2 Термическая обработка в инертной среде	38
2.2.1 В атмосфере аргона	38
2.2.2 В атмосфере азота	42
3. Материалы и методы	44
3.1 Описание исходного образца	44
3.2 Описание добавки и метода нанесения	44
3.3 Дифференциально-термический анализ	45
3.4 Масс-спектрометрический анализ	46

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

3.5	Методика определения характеристик протекания процесса окисления и пиролиза реакторного графита.....	46
3.6	Энергия активации.....	46
4.	Результаты и их обсуждение	48
5.	Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение .	60
5.1	Анализ проекта	60
5.2	Инициация проекта.....	61
5.2.1	Цели и результаты проекта.	61
5.3	План проекта.....	62
5.3.1	Разработка календарного плана работ	62
5.4	Бюджет научного исследования	65
5.5	Реестр рисков проекта	69
5.6	Выводы по разделу	70
6.	Социальная ответственность	71
6.1	Объект исследования: вещество, материалы.	71
6.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
6.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	71
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	72
6.3	Профессиональная социальная безопасность.	74
6.3.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	74

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.3.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	75
6.4	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	80
6.4.1	Мероприятия по защите от воздействий микроклимата ...	80
6.4.2	Мероприятия по защите от воздействий шума	80
6.4.3	Мероприятия по защите от воздействия освещения.....	81
6.4.4	Мероприятия по защите от воздействия газовых компонентов	82
6.5	Экологическая безопасность.....	82
6.5.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	82
6.5.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	83
6.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	83
6.6.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	83
6.7	Выводы по разделу	85
7.	Автоматизация технологических процессов	86
7.1	Описание объекта автоматизации.....	86
7.2	Выбор схемы реализации автоматической системы регулирования	86
7.3	Выбор средств контроля и регулирования	88
7.3.1	Выбор термоэлектрического преобразователя	88
7.3.2	Выбор регулятора	88

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

7.3.3	Выбор исполнительного устройства.....	90
7.4	Разработка схемы автоматизации	91
	Заключение	93
	Список публикаций.....	94
	Список использованных источников:	95
	Приложение А	104
	Приложение Б.....	105
	Приложение В	107

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДСК – Дифференциальная сканирующая калориметрия

ДТГ – Дифференциальная-термогравиметрия

МС – Масс-спектрометрия

МСВИ – Масс-спектрометрия вторичных ионов

РАО – радиоактивные отходы

РЭС – Рентгеноэлектронная спектроскопия

СВС – Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

СТА – Синхронный термический анализ

ТГ – Термогравиметрия

УГР – Уран-графитовые реакторы

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ					Лист					
															15
										Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

ВВЕДЕНИЕ

Начался новый этап эксплуатации ядерных энергетических реакторов во всем мире. Особенностью данного этапа является возрастающее число выводимых из эксплуатации энергоблоков, которые либо выработали свой ресурс, либо их эксплуатация становится экономически не целесообразной, экологически небезопасной.

Вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС связан с необходимостью поиска безопасных путей решения таких как: демонтажа, дезактивации, разукрупнения, утилизации и долговременной изоляции радиоактивных материалов, которые возникли в процессе эксплуатации.

Радиоактивный изотоп углерода ^{14}C , возникший в процессе эксплуатации уран-графитовых реакторов (УГР), требует особенно тщательного подхода в выборе технологии долговременной изоляции от живой природы. Он является долгоживущим ($T_{1/2}=5700\pm 30$ лет) [1] и биологически значимым радионуклидом, поэтому технологии его перевода в безопасное состояние или долговременную изоляцию должны отвечать критериям экологической, социальной, экономической приемлемости.

В 2018 году окончательно остановлен первый энергоблок Ленинградской АЭС с реактором РБМК-1000. Это старейший из одиннадцати эксплуатируемых энергоблоков этого типа в России. Планируется его вывод из эксплуатации с демонтажем и захоронением графитовой кладки. Обретение опыта по выработке и принятия решений по обращению с реакторным графитом будет в дальнейшем тиражирован в регионах размещения (Смоленской, Курской областях) АЭС с реакторами этого типа.

Значительная часть УГР была специально разработана для наработки оружейного плутония.

Всего в мире было построено 123 УГР и они включают в себя:

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- реакторы для наработки плутония с воздушным охлаждением: X-10 (Национальная лаборатория OakRidge, США) [2], WindscalePile (Великобритания) [3] и G1 (Marcoule, Франция) [4] и др.;

- легководные реакторы с графитовым замедлителем: В, D, F (Хэнфорд США) [5] и российские промышленные уран-графитовые реакторы (ПУГР) АДЭ, ЭИ и др. [6] для наработки плутония, а также энергетические реакторы АМБ, ЭГП в России и РБМК в России, Украине и Литве;

- реакторы, охлаждаемые углекислым газом: британские Magnox и AGR [7,8];

- высокотемпературные реакторы с гелиевым охлаждением Dragon (Великобритания) [9], THTR (Германия)[10], Peach Bottom (США) [11].

В настоящее время ведутся новые разработки УГР: в Японии (HTTR), Китае (TRIS-10) и ЮАР (PMBR).

Из всех УГР в настоящее время продолжают эксплуатироваться в режиме генерации энергии 10 реакторов РБМК-1000 и 3 реактора ЭГП-6 в России, 14 реакторов AGR в Великобритании, 4 реактора в Китае и исследовательский реактор UNGG в Бельгии [12].

Таким образом, подавляющее большинство УГР, в том числе и все (кроме КНДР) промышленные реакторы для наработки оружейного плутония остановлены и подлежат выводу из эксплуатации.

Основная проблема вывода из эксплуатации ядерных установок с УГР связана с выбором оптимальных методов обращения с большими объемами отработавшего графита, который занимает особое место при обращении с накопленными радиоактивными отходами (РАО). Весь отработавший облученный и радиоактивно-загрязненный графит, получаемый в результате демонтажа УГР можно разделить на две основные группы:

- конструкционный графит, из которого выполнена кладка реактора;

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- графит, образующийся в ходе ремонтов и ликвидации инцидентов и аварий на реакторах.

После длительного облучения в реакторе графит не приобретает никаких полезных свойств. Учитывая удельную активность облученного графита (~1 ГБк/кг) [13], его относят к категории твёрдых РАО среднего или высокого уровня активности.

Кроме того, облученный реакторный графит обладает следующими специфическими свойствами [14]:

- Специфичной кристаллической структурой и пористостью, которые обусловлены облучением нейтронов и определяют его физические свойства;
- Незаменимостью графитовой кладки в течение всего срока эксплуатации активной зоны УГР, и, как следствие, наибольшим из всех РАО набранным флюенсом нейтронов;
- Неравномерностью загрязнения кладки как по величине, так и изотопному составу и отдельных графитовых деталей;
- Загрязненностью кладки долгоживущими биологически значимыми радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs , которые химически более активны и могут замещать в живых организмах стабильные изотопы ^{40}Ca , ^{39}K , тем самым создавая дополнительное внутреннее облучение;
- Дополнительным вкладом в активность графита таких радионуклидов, как ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{239}Pu и др., возникшим в результате аварий и попадания в него фрагментов ядерного топлива;
- Пожароопасностью графита и взрывоопасностью графитовой пыли;
- Высокой удельной теплотой сгорания (~8 ккал/г) и температурой воспламенения ~700°C;

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- Наличием накопленной «энергии Вигнера», образующейся при облучении нейтронами кристаллической решетки, которая деформируется, приобретая более высокую потенциальную энергию. Количество накопленной энергии зависит от потока нейтронов, времени облучения и температуры. Максимальное количество накопленной энергии может достигать ~2.700 Дж/г, что при одновременном высвобождении теоретически может привести к повышению температуры примерно на 1 500°C;

- Выделением из кладки радиоактивных и токсичных газов, таких как ^{36}Cl , ^3H .

Вышеперечисленные свойства ОРГ требуют при выводе из эксплуатации комплексного планирования и реализации нескольких взаимосвязанных операций для надежной изоляции от живых систем.

В настоящее время суммарное количество накопленного ОРГ в мире ~260 тысяч тонн [14]. Из них порядка 60 тысяч тонн – в РФ [15], методы обращения с которым еще не определены. Поэтому проблема эффективной экологически безопасной утилизации облученного реакторного графита является общемировой.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инд. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

1. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА

В принципе, большинство радиоизотопов можно удалить методами очистки, применяемыми при производстве ядерного графита. Однако из-за того же химического поведения, что и ^{12}C , это не применимо к ^{14}C [16]. Наибольшую озабоченность при долгосрочном удалении облученного графита вызывает ^{14}C [17]. Облученный графит не может храниться в наземных помещениях для захоронения отходов из-за длительного периода полураспада [16]. Сжигание ядерного графита может быть эффективным методом уменьшения объема, но не будет принято общественностью, пока весь ^{14}C выбрасывался в атмосферу в форме CO_2 [16].

Целью обработки облученного графита является облегчение его последующей утилизации или уменьшение воздействия на окружающую среду выбранного способа утилизации. Термическая обработка, химическая обработка, иммобилизация и газификация - основные потенциальные методы обработки облученного графита.

1.1 Утилизация после иммобилизации в инертной матрице

Для каждого объекта по захоронению будет применяться ряд общих критериев независимо от типа отходов, например, размер и вес контейнера; мощность дозы облучения поверхности упаковки; теплоотдача и поверхностное загрязнение; и выброс радиоактивности упаковки при нормальных и аварийных условиях обращения, транспортировки и захоронения. Кроме того, для графитовых отходов существует ряд специфических свойств материала, которые необходимо учитывать при разработке вариантов упаковки.

Целью кондиционирования является производство подходящих упаковок для непосредственного захоронения. Может быть использован

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

широкий спектр возможных матриц цемент, полимер-модифицированный цемент, полимер, битум, стекло, металл с низкой температурой плавления, а также керамика [18]. Основной процесс, состоит в предварительном смешивании цементного раствора в неактивной зоне с последующим переносом раствора в емкость, содержащую отходы. Затем ёмкость транспортируется в хранилище.

В Российской Федерации был предложен интересный простой метод захоронения графита, загрязненного ураном и актинидами, известный как процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [19]. После размола графита добавляются порошки Al и оксиды Y, Ce, Ti; затем, после некоторого начального нагрева, в герметичных стальных контейнерах производится самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Этот процесс аналогичен процессу алюминотермии. Реакция соответствует следующему уравнению: $3C + 4Al + 3TiO_2 = 2Al_2O_3 + 3TiC$

Плотность полученного продукта составляет 2-4 г/см³. При высокотемпературном синтезе атомы Y могут быть замещены атомами урана и актинидов. Продукт представляет собой стабильный карбидно-оксидный композиционный материал, готовый к утилизации. ¹⁴C также успешно изолируется. Эта технология, как утверждается, является полностью экологически безопасной.

1.2 Утилизация после покрытия и пропитки

Целью нанесения защитных покрытий и пропитки является дезактивация радиоактивных отходов или их защита от воздействия окружающей среды, например, от окисляющих газов или влаги. Пропиточные материалы могут включать ультратонкий шпатлевку, битум, полимеры и модифицированные полимеры [20]. По сравнению с иммобилизацией нанесение защитных покрытий и пропитка оставляют возможность для дальнейшей обработки, такой как сжигание.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Ине. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

1.3 Сжигание

Для типичного процесса сжигания отношение графита к золе составляет приблизительно 160 [21], поэтому общий объем материала, подлежащего захоронению путем иммобилизации, консервирования и захоронения, будет значительно меньше по сравнению с исходным графитом, хотя этот материал будет иметь более высокую категорию отходов. Чтобы избежать выброса несконденсированного радиоактивного газа, необходимо оснастить систему сжигания графита эффективной системой фильтрации, состоящей из фильтра предварительной очистки, фильтра обратной промывки и высокоэффективный фильтр очистки воздуха для улавливания всех радиоактивных частиц и аэрозолей. При загрязнении ^{36}Cl система сжигания должна быть также оснащена мокрым скруббером для нейтрализации образовавшейся соляной кислоты и устранения выброса хлора в несконденсированный газ. Для удержания некоторых других газообразных загрязнителей (например, NO_x) следует использовать дополнительную систему фильтрации. Радионуклид ^{14}C будет сбрасываться в окружающую среду вместе с несконденсированным газом.

Перспектива сжигания графитовых отходов ставит четыре основных вопроса:

1. Трудность сжигания графита, особенно очень чистой формы, используемой в ядерных целях;
 2. Выброс радиоактивных газов, особенно C-14, Cl-36 и остаточных H-3;
 3. Переработка и захоронение остаточной золы, в которой сконцентрированы другие радиоактивные изотопы;
 4. Графит должен быть измельчен на мелкие кусочки до сжигания.
- Сжигание в печи, сжигание в кипящем слое и сжигание с помощью лазера могут использоваться для сжигания графита.

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

1.4 Паровой риформинг

В работе [22] рассмотрена технология пиролиза и парового риформинга для удаления радионуклидов из облученного графита. При высокотемпературном взаимодействии с паром графитовые фрагменты преобразуются в водород и окись углерода. Газообразные продукты могут в дальнейшем окисляться путем поступления дополнительного кислорода или воздуха для получения неопасных продуктов, углекислого газа и воды. Различные примеси, за исключением ^{14}C , ^3H и ^{129}I , могут собираться на скрубберах и различных фильтрах.

1.5 Химическая обработка

Химикат может дезактивировать графит, выборочно удаляя поверхностный слой и разрушая связующий материал. На основании исследований с использованием минеральных кислот, щелочных растворов, растворенных окислителей или комбинаций были выявлены две возможности дезактивации поверхностного слоя графитового материала. Комбинированный раствор разрушает связующий материал и растворяет минимальное количество графита. Более агрессивный подход с использованием электрохимической технологии не только разрушает связующий материал, но и растворяет поверхностный материал графита [23,24].

В работе [25] исследовали возможность использования измельченного графита с микроокислением в качестве наполнителя для получения нового графита. Доказано, что графит из переработанного реактора превосходит по плотности, прочности и теплопроводности. Процесс микроокисления повысил прочность переработанного графита за счет большего количества пор и негладкой поверхности на окисленных частицах графита.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Механизмом, стоящим за удалением ^{14}C , считается включение в межслойное пространство внутри графитовой структуры. Механизмом выделения ^3H считается изотопный обмен ионами водорода. Процесс химической обработки может привести к удалению только подвижных и доступных ^3H и ^{14}C до вывода из эксплуатации или помещения в хранилище. И значительная часть радионуклидов все еще остается в составе графита.

Органический растворитель (например, N-Метил-2-пирролидон) был применен для разделения графитовых слоев и извлечения радионуклидов. Для ускорения процесса дезактивации используется ультразвук. Поскольку не происходит ни окисления, ни воздействия кислоты, графен может быть полностью восстановлен. Восстановленный графен может быть использован повторно [26].

1.6 Термическая обработка

При термической обработке облученного графита можно удалить значительную часть ^{14}C , которая существовала на поверхности графита. При термической обработке атомы углерода на поверхности графита могут вступать в реакцию с естественно адсорбированными кислородными комплексами для получения газов CO_x , т.е. "газифицировать" графит. Этот процесс сильно зависит от наличия адсорбированных соединений кислорода. Количество и форму адсорбированных комплексов кислорода в предварительно и после облучения графита можно исследовать с помощью масс спектрометра на вторичных ионах (МСВИ) и рентгеноэлектронной спектроскопии (РЭС), чтобы лучше понять процесс газификации и оптимизировать процесс обработки [27].

Целью термической обработки является селективное удаление ^{14}C без окисления основной массы графита [16,26,28]. Термическая обработка облученного графита основана на открытии, что ^{14}C сконцентрирован на его поверхности, а не в основной кристаллической структуре [29–31]. Исходя из

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

этого, большая часть поверхностного ^{14}C может быть удалена путем окисления графитовых компонентов.

Термическая обработка включает нагрев графита в инертной атмосфере до достаточно высокой температуры, чтобы химически активные газы на поверхности графита вступили в реакцию с адсорбированными радиоизотопами или инициировали пиролизные эффекты, разрушающие химические связи. В качестве альтернативы этот процесс может быть выполнен в разбавленных активных газах, таких как кислород, пар, углекислый газ или водород, для удаления более подвижных/летучих загрязняющих веществ, что в результате приводит к удалению отходящего газа, обогащенного ^{14}C [32–34]. Аргон обычно используется в качестве продувки для удаления выделяемых продуктов или разбавления химически активных газов.

В работе [35] исследовали свойства образцов графита из исследовательского реактора и из энергетических реакторов относительно теплового выделения трития и радиоуглерода. Выбор этих типов реакторов был обусловлен различными условиями облучения графита нейтронами во время их работы.

Пэйн и др. [36] изучали поведение окисления необлученного графита в диапазоне температур 600-1050 °C в воздухе и азоте с помощью термического гравиметрического анализа, растровой электронной микроскопии и рентгеновской томографии для изучения возможности использования методов термического разложения для определения распределения ^{14}C в облучаемом материале.. Наблюдалось термическое разложение графита в соответствии с тремя режимами окисления. Также были исследованы поверхностные отложения на графите активной зоны реактора Oldbury для определения концентрации и распределения ^{14}C [37].

Исследования в работе [38] проводились с целью определения эффективности термической обработки для удаления загрязнений ^{14}C с

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

облученных поверхностей графита. Изучена термическая обработка двух марок облученного графита (NBG-18 и NBG-25) для определения степени загрязнения ^{14}C на облученных поверхностях графита. Установлено, что специфические химические формы ^{14}C (а именно (CO)-C-14 и (CO₂)-C-14) могут быть селективно удалены в зависимости от температуры, используемой при термической обработке. Они также исследовали химическое видообразование, структуру связей и форму поверхностей облученного до и после термической обработки графита с использованием различных методов анализа поверхности, таких как рентгеновская фотоэмиссионная спектроскопия, вторично-ионная масс-спектрометрия, растровая электронная микроскопия.

В работе [39] рассматривалась обработка графита в низкотемпературной газоразрядной плазме. В электродугую печь загружается реакторный графитовый порошок с размерами фракций не более 1-2 мм, что позволяет значительно интенсифицировать протекающие процессы. В атмосфере инертного азота под действием электродуговой печи (низкотемпературная газоразрядная плазма) графит нагревается до рабочих температур 2873 - 2923 К, создавая необходимые условия перехода радионуклидов в газообразную фазу, кроме углерода и его изотопа ^{14}C , вместе с ним вакуумная система удаляет образующиеся летучие соединения из рабочей камеры печи и пропускает их через система фильтров для их улавливания.

Ле Гийю и др. [40] изучали поведение трития в графитовом замедлителе для получения информации о его распределении и количество в облученных графитовых отходах после их демонтажа. Они внедрили ионы D^+ в чистый ядерный графит для того, чтобы имитировать тритий. Также исследовали влияние термической обработки на подвижность дейтерия при температурах от 200 до 1200 °С, в инертной атмосфере (вакуум или аргон), в охлаждающем газе (в основном CO₂) или в азоте.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № инв.	Взам. инв. №
Инд. № док.	Подп. и дата
Инд. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Исследования, проведенные в Государственном университете штата Айдахо [41], подтвердили эффективность термической обработки как потенциальной стратегии обращения с облученными графитовыми отходами. Кливер проводил эксперименты при 900 °С и 1400 °С с аргоном [17]. Максимальные фракционные выбросы ^{14}C и ^{12}C при 900 °С составили около 32% и 0.83%, соответственно, что приводит к коэффициенту выброса 42. Для эксперимента при 1400 °С максимальные фракционные выбросы ^{14}C и ^{12}C при 1400 °С составили около 35% и 0.9%, соответственно, что приводит к коэффициенту выделения 38. Смит (2013) считает, что термическая обработка облученного графита наиболее эффективна при медленных скоростях окисления, т.е. при низких температурах и низкой доступности окислителя. В работе [42] был оптимизирован процесс термической обработки графита. Для анализа были выбраны три типа графита: пенографит (PocoFoam), ядерный графит (NBG-18) и NBG-25. Для увеличения содержания ^{14}C до детектируемого уровня, образцы PocoFoam и NBG-18 были погружены в жидкий N_2 на 24 часа до облучения, облучение проводилось в герметичных емкостях. Образцы NBG-25 во время облучения не погружались в жидкий N_2 . Результаты эксперимента показали, что при потере веса графита менее 20% соотношение удаления ^{14}C может достигать более 90%. Для образцов NBG-18 и NBG-25 2 ч при 300 °С с последующей термической обработкой в течение 8 ч при 700 °С. Более 90% ^{14}C может быть удалено при 10% удалении ^{12}C .

1.7 Сравнение различных методов

Как и все другие радиоактивные отходы, выбор методов обработки облученного графита должен основываться на учете экономических и экологических соображений. Цель процессов обработки облученного графита должна основываться на одной из следующих причин:

- Реклассификация, радионуклиды должны быть удалены из графита таким образом, чтобы графит мог деградировать (т.е. из

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

среднеактивных отходов в низкоактивные отходы) или соответствовать нормативным ограничениям; или удалить радионуклиды имеющий большой период распада для соответствия критериям приемки отходов на приповерхностном участке захоронения;

- преобразовать облученный графит в инертную матрицу;
- минимизация отходов;

В процессе термической обработки поверхность графита окисляется, высвобождая газифицированные углекислородные соединения с газом носителем. Графит после термической обработки будет соответствовать более низкому классу отходов или пригоден для повторного использования. Содержащийся в отходах газ ^{14}C должен быть надлежащим образом обработан. Окончательный объем отходов, содержащих ^{14}C , должен быть меньше облученного графита или более стабильным, чем облученный графит. В настоящее время на стадиях исследований около 90% C-14 может быть удалено и при удалении 10% ^{12}C [42].

Химическая обработка заключается в использовании химического агента для удаления радионуклидов из облученного графита. В настоящее время эффективность удаления радионуклидов составляет от 70 до 90% [43]. Следует рассмотреть вопрос об окончательном удалении графита и химического агента, обогащенного радионуклидами, а также оценить потенциал повторного использования восстановленного графена.

На основании изученного материала рассмотрим более подробно метод термической обработки.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

2. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА

В отличие от таких видов топлива, как уголь и древесный уголь, сам графит не является легко воспламеняемым из-за отсутствия летучих углеводородов или кислорода [43]. Однако под воздействием различных газообразных сред при подходящих повышенных температурах [44] этот поликристаллический материал будет подвергаться термическому окислению. Это поведение было широко изучено с использованием различных видов окисляющих газов, различных типов графита и различных температур. Исследовано также влияние примесей, которые могут действовать в качестве катализаторов, влияющих на скорость окисления и начальные температуры. Наибольший интерес ранее представляли химически активные виды газов - кислород (O_2), углекислый газ (CO_2) и водяной пар (H_2O), а также первичные газообразные продукты возникающих реакций окисления графита: окись углерода (CO) и водород (H_2) [45–47]. Графит будет реагировать даже на воздухе, где доминирующим видом окислителя является кислород по сравнению с водяным паром или углекислым газом [46,48]. Для всех газ-реагентов в процессе реакции с графитом происходит несколько физико-химических процессов [47,49]. Сначала газы диффундируют из области потока к внешней поверхности графита, а затем диффундируют в графит и адсорбируются на участках внутренней поверхности пор. Во-вторых, адсорбированные газовые молекулы химически связываются с поверхностными атомами углерода, образуя газ CO или CO_2 . Наконец, образующиеся газообразные продукты быстро десорбируются с поверхности и диффундируют из графита. Считается, что скорость окисления регулируется двумя последними процессами (адсорбцией и десорбцией). Кроме того, если позволить газообразным продуктам реакции накапливаться, то возрастает конкуренция за места адсорбции графита, что снижает скорость реакции

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Инд. № подл.
Инд. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

окисления. Считается, что процесс адсорбции графита управляется хемосорбцией, а не относительно слабым физическим поглощением, за счет более сильных взаимодействий (а не слабых сил Ван-дер-Ваала) [50]. Подробно это рассматривается в работе [31].

2.1 Термическая обработка в окислительной среде

2.1.1 В атмосфере диоксида углерода

Эксперименты по газификации графита с реактора UNGG в среде CO₂ проводились в работе [51]. Опыты затрагивали диапазоны температур от 900 до 1050 °С и в диапазоне времени от 3 до 24 часов. Результаты приведены в таблице 1 и 2. При 900 и 950 °С относительные потери веса низкие для 6-часовой газификации при 0,1 МПа. Что касается извлечения ¹⁴С, то она очень низкая при 900 °С и становится заметной при 950 °С. Для температуры 1000 °С удаление ¹⁴С составило более 20% при этом относительная потеря массы составила ~8 процентов. Далее для этой же температуры решили провести опыт в течении 24 часов, удалось добиться извлечения 68% ¹⁴С. Однако потери массы графита составили около 40%.

Таблица 1 – Относительное выделение ¹⁴С и потеря массы графита в зависимости от температуры при выдержке 3 часа [36]

Температура газификации (°С)	900	950	1000	1050
Относительная потеря массы графита ±0.4 (%)	2.2	2.8	8.2	21.8
Относительное выделение ¹⁴ С ±3 (%)	3.1	8.7	23.6	51.4
¹⁴ С/ ¹² С	1.4	3.1	2.9	2.4

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 2 – Относительное выделение ^{14}C и потеря массы графита в зависимости от времени при постоянной температуре 1000 °С [36]

Время газификации	3	6	24
Относительная потеря массы графита ± 0.4 (%)	3.1	8.2	41.1
Относительное выделение $^{14}\text{C} \pm 3$ (%)	6.5	23.5	67.8
$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$	2.1	2.9	1.6

2.1.2 В атмосфере водяного пара

Эксперименты с водяным паром проводились в работе [52]. Давление насыщенного водяного пара составляло 2,3 кПа и 7,4 кПа. Дополнительно был проведен один эксперимент с графитом Merlin в водяном паре при давлении пара 70 кПа с последовательным увеличением температуры обработки.

Схема установки для обработки графита показана на рисунке 1. Она состояла из колбы с аргоном, регулятора потока, испарителя, печи с кварцевой реакционной трубкой, 5 промывных бутылок и ИК-детектора CO – CO₂. Перед началом эксперимента образец графита помещали в керамическую лодочку и взвешивали. Затем керамическую лодочку медленно вставляли в кварцевую трубку, помещенную в печь, и нагревали до необходимой температуры. Обработка проводилась в инертной (аргон) и окислительной атмосфере (водяной пар).

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Ине. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

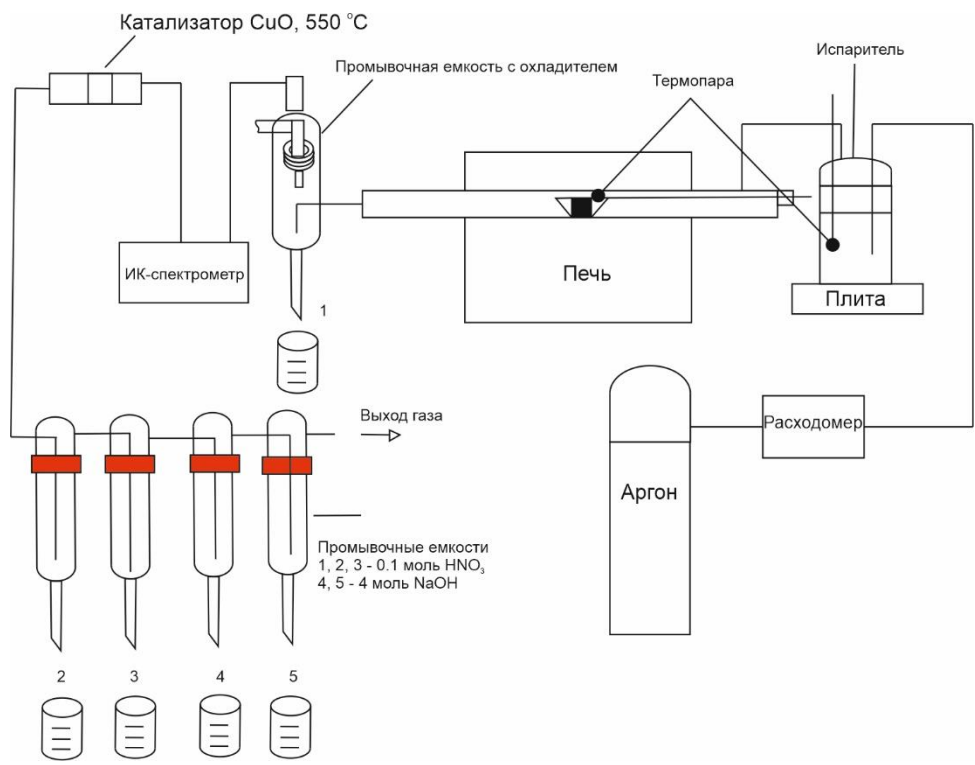


Рисунок 1 – Схема установки [52]

Выделение ^3H во время окисления графита со ступенчатым повышением температуры показано на рисунке 2. Тритий начал выделяться при $400\text{ }^\circ\text{C}$ в небольших количествах (1,3% через 5 часов). Как видно из наклона кривой, скорость выделения увеличивается с температурой. Весь запас трития был удален из графитового образца после 20 часов термической обработки. Общая потеря массы образца составила примерно 50%.

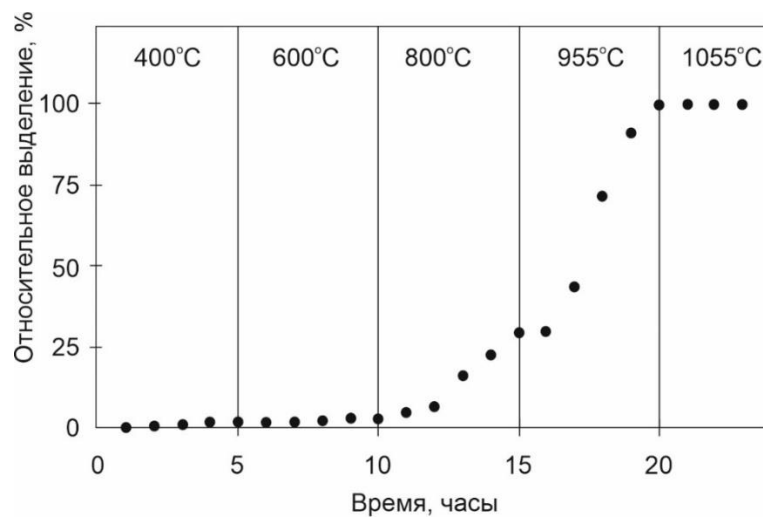


Рисунок 2 – Выделение трития со ступенчатым повышением температуры окислением в водяном паре при давлении пара 70 кПа [52]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Выделение ^3H из графита реактора Merlin при температурах 960 °С и 1060 °С во время окисления водяным паром при давлении пара 7,4 кПа показано на рисунке 3. При 960 °С эксперименты проводились при двух различных расходах газа-носителя.

Результаты обработки графита при более низком давлении водяного пара (2,3 кПа) показаны на Рисунке 3б. Можно видеть, что такое же количество трития было выделено из графита Merlin при температуре 1060 °С через 8 часов, что и в эксперименте с давлением водяного пара 7,4 кПа. Соответствующая потеря массы образца составила 22%. Для графита AVR доля выделившегося трития меньше, чем для графита Merlin.

Процесс окисления влияет на высвобождение ^{14}C аналогично случаю трития. Как показали эксперименты со ступенчатым повышением температуры окисления, выделение ^{14}C начиналось при 600 °С (Рисунок 4). Количество выделившегося ^{14}C было очень небольшим из-за незначительной скорости реакции графита и водяного пара при этой температуре. При 800 °С в начале наблюдалось быстрое увеличение выброса радиоуглерода (около 18% через 1 час). После этого выброс ^{14}C происходил довольно медленно

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

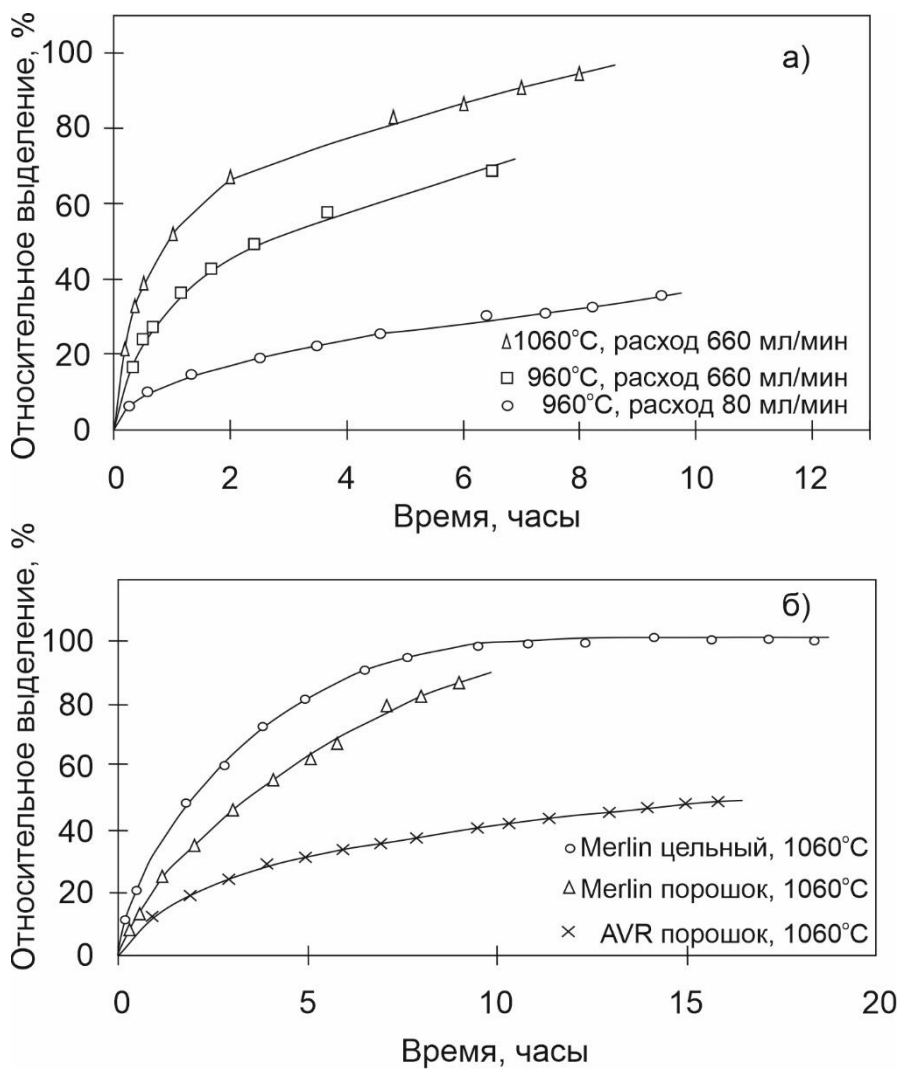


Рисунок 3 – а - Выделение трития из графита Merlin в процессе окисления при давлении насыщенного водяного пара 7,4 кПа; б - Выделение трития из графита Merlin и AVR при 1060 °С и давлении насыщенного водяного пара 2,3 кПа [52]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

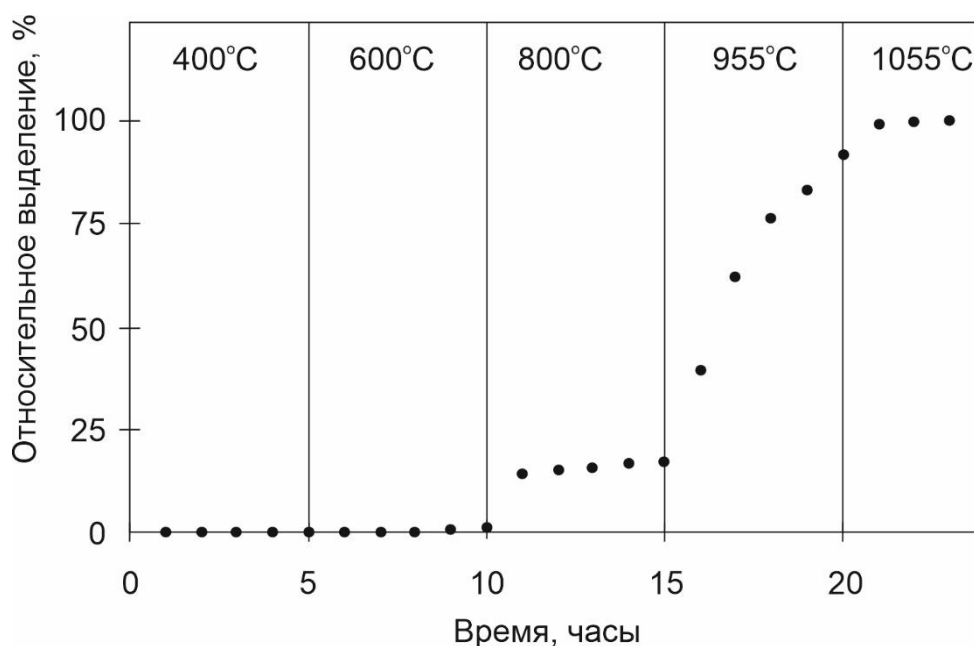


Рисунок 4 – Выделение ^{14}C с ступенчатым повышением температуры, окислением в водяном паре при давлении пара 70 кПа [52]

На основании этих результатов были проведены дальнейшие эксперименты при температурах выше 900 °С, поскольку в этих условиях наблюдалось значительное выделение ^{14}C при обработке водяным паром. Выделение ^{14}C из графита Merlin и AVR представлен на рисунке 5 (а, б).

При температуре 960 °С эксперимент был проведен с двумя разными расходами. Как и в случае трития, с увеличением скорости потока количество выделившегося ^{14}C также увеличивалось с 11% до 24% через 7 часов. Потеря массы образца графита составила 2,5% и 4% соответственно. Это дает соотношение высвобожденных изотопных фракций 4,4 и 6 соответственно. Сравнивая эти результаты с обработкой при более высокой температуре (1060 °С) через 7 часов, можно сделать вывод, что окисление графита при более низкой температуре является более эффективным для устранения ^{14}C без значительного выгорания общей массы графита.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

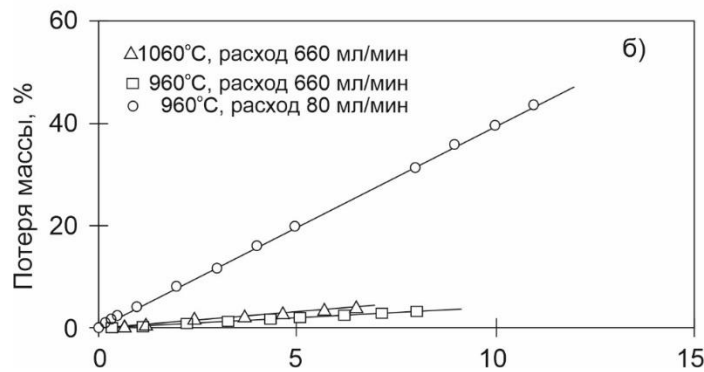
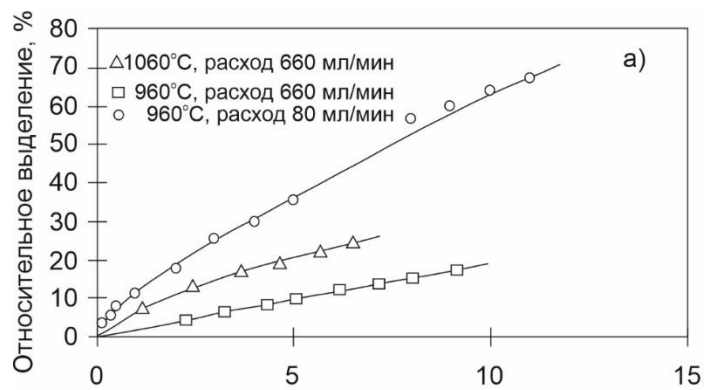


Рисунок 5 – Выделение ^{14}C (а) и потеря массы (б) при окислении графита Merlin водяным паром (давление водяного пара 7,4 кПа) [52]

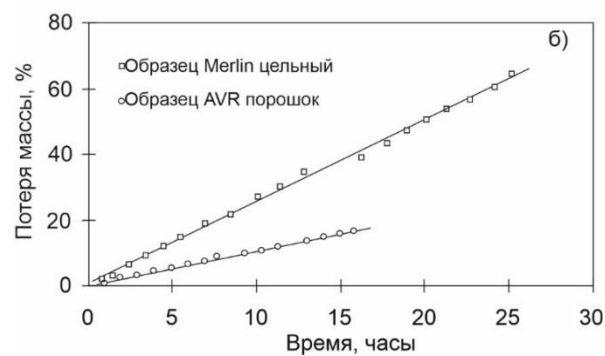
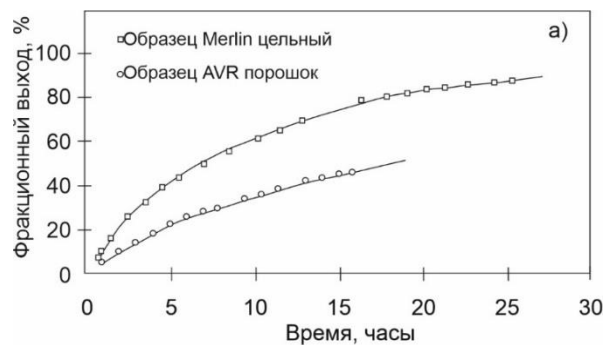


Рисунок 6 – Выделение ^{14}C (а) и потеря массы (б) при окислении графита Merlin и AVR водяным паром при 1060 ° С (давление водяного пара 2,3 кПа) [52]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

2.1.3 В атмосфере воздуха

В работе [53] были проведены опыты с графитом из исследовательского реактора типа АМ и энергетического реактора РБМК (Курская АЭС). Эксперимент проводился в окислительной среде воздуха при температуре 600 и 650 °С. Результаты представлены в таблице 3. В этом температурном интервале происходит постепенное удаление радиоуглерода из графита и удаление 90-95% радиоуглерода сопровождается потерей около 25-35% массы самих углеродных отходов. Для графита из реактора РБМК при тех же условиях удаление радиоуглерода произошло в течении 5-6 часов.

Таблица 3 – Потеря массы графита и доля удаленного ¹⁴С [53]

Т, °С	Время, ч	Потеря массы графита, %	Доля удаленного ¹⁴ С, %
600	6	2,5	0,7
	11	5,0	2,4
	17	10,1	7,1
	23	10,1	24,5
	29	12,6	31,5
650	34	13,9	42,4
	40	15,2	60,9
	46	24,0	88,1
	51	26,6	95,1
	57	44,3	95,1
Общий процент окисления		100	100

В патентной работе [54] проводилась термическая обработка образца графита с реактора РБМК в потоке воздуха при различных температурах. Для температуры 450 °С расход воздуха составлял 10 л/ч, для остальных температур 1 л/ч. Результаты представлены в таблице 4.

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 4 – Выделение углерода-14, в % от общего содержания в образце [54]

Время нагрева, час	Температура воздуха, °С			
	450	475	500	530
1	25,0	20,1	59,5	87,5
2	56,5	36,5	82,7	93
5	83,2	90,7	95,1	–
10	90,8	94,9	–	–
12	91,4	97,0	–	–

2.2 Термическая обработка в инертной среде

2.2.1 В атмосфере аргона

В работе [52] рассмотрена термическая обработка графита в инертной среде.

Количество трития, выделяемого из графита Merlin и AVR при различных температурах в инертной атмосфере (Ar), показано на рисунке 7.

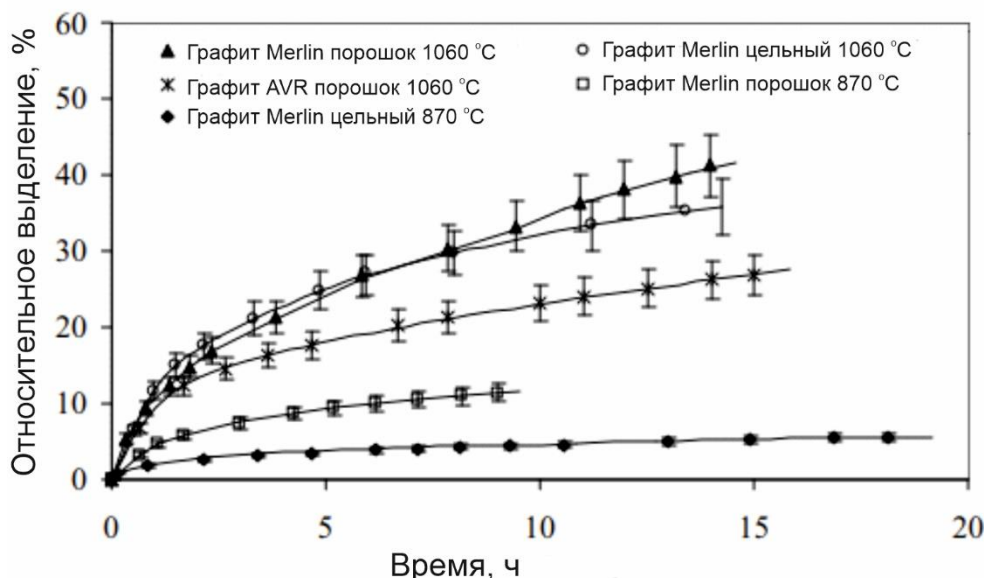


Рисунок 7 – Выделение трития в атмосфере аргона [52]

Во всех экспериментах наблюдались две различные стадии выделения трития. В начале тритий выделялся быстрее, что соответствует области

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

кривых выделения с высоким восходящим наклоном. Это может свидетельствовать о десорбции ^3H из активных участков, расположенных на поверхности. На втором этапе выделение стало умеренным со временем и носило линейный характер. При температуре 1060°C был исследован графит из реактора Merlin в виде порошка и цельных кусков. Видно, что количество высвобожденного ^3H было почти одинаковым для обоих образцов. Поэтому можно считать, что выделение трития из образца графита не ограничивалось диффузией в порах [52]. Увеличение высвобождения ^3H из образца порошка по сравнению с цельным образцом через 9 часов можно объяснить попаданием кислорода в систему, вызывающее окисление образца графита и увеличение высвобождаемого трития. Максимальное значение высвобожденного трития получено из порошка графита Merlin. Через 15 часов оно составило 43%. Снижение температуры привело к уменьшению выделения ^3H . При температуре 970°C количество высвобожденного трития после 9-часовой обработки составило около 10%. Для графита AVR количество трития, образовавшегося при той же температуре, составило около 27 %. Эта разница может быть объяснена различными условиями эксплуатации этих двух материалов. AVR представляет собой реактор с гальваническим газовым охлаждением и средней температурой выхода газа около 950°C [55,56], в то время как в реакторе Merlin легкая вода является замедлителем и теплоносителем. Рабочая температура колонн в этом случае является температурой окружающей среды [56]. В ряде публикаций сообщается, что подвижность молекул водорода в неповрежденном графите достаточно низкая [57–59]. В AVR рабочие температуры достаточно высоки и некоторые дефекты, вызванные нейтронным облучением, могут быть отождествлены. Другая причина может быть связана с тем, что в высокотемпературных условиях AVR тритий диффундирует внутри гранул графита [57,60].

Выделение ^{14}C показан на рисунке 8. Максимальное значение было получено для графита Merlin при 1050°C и составило 20%. Выброс

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

радиоуглерода несколько выше в начальный период времени. Это, вероятно, представляет собой выделение ^{14}C в составе кислородных комплексов с поверхности графита, которое может быть легко устранено при нагревании.

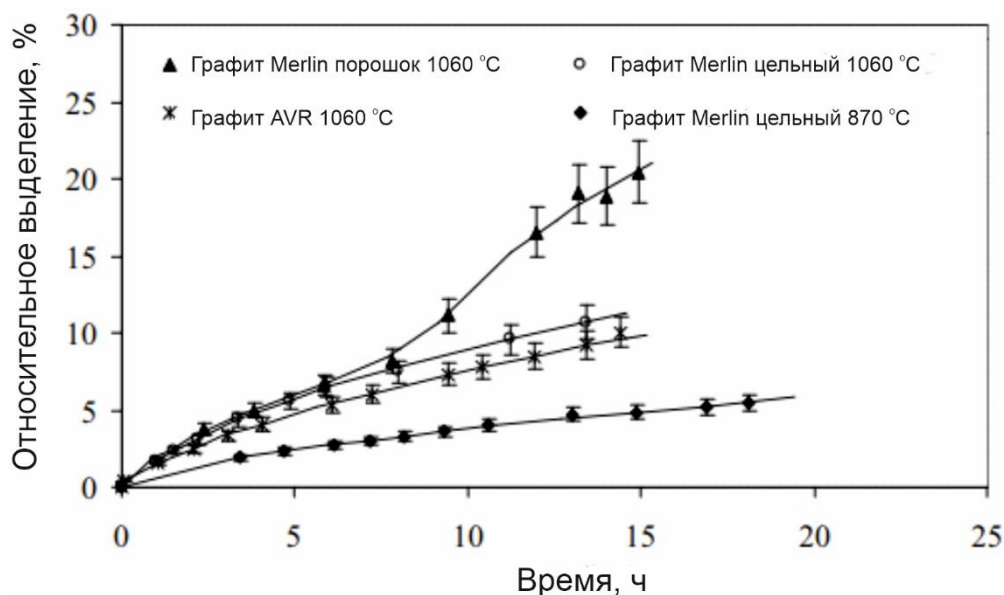


Рисунок 8 – Выделение радиоуглерода в атмосфере аргона [52]

Резкое увеличение выделения ^{14}C в этом эксперименте после 9 часов нагревания было связано с проникновением кислорода, как уже упоминалось выше. Видно, что окисление графита увеличило выделение радиоуглерода в два раза, хотя потеря массы образца была незначительной (1.36 %). Общее относительное выделение ^{14}C меньше относительного выделения трития, поскольку расположение этих радионуклидов в графитовой матрице отличается.

Смит и др. в работе [17] проводили эксперименты с образцом графита NBG-18 и POCOfoam при температуре 700-1400 °C в течении 9-13 часов. Эксперимент проводили в атмосфере аргона и аргонокислородной среде. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Усредненное относительное выделения $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ [17]

700-0-N*	700-5-N	1400-5-N
195.49	11.17	2.55

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

*-700 температура обработки в градусах Цельсия, 0-содержание кислорода, N-вид графита NBG

В работе [42] был оптимизирован процесс термообработки в аргоне с предварительной выдержкой в печи при различной температуре. Результаты этого исследования представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Выделение ^{12}C и ^{14}C в различных смесях газа при разной предварительной выдержке [42]

Газовая смесь	Аргон		Аргон		Аргон + 2 об.% O ₂		Аргон + 2 об.% O ₂		Аргон + 5 об.% O ₂	
	2 ч. 150оС		2 ч. 300 оС		2 ч. 150оС		2 ч. 300 оС		2 ч. 150оС	
Графит	N18	N25	N18	N25	N18	N25	N18	N25	N18	N25
% удаленного 12C	50.0	3.0	12.0	10.0	15.0	19.0	7.0	10.0	46.0	–
% удаленного 14C	32.0	6.0	14.0	2.9	74.0	88.0	92.0	90.0	88.0	–

Данные свидетельствуют о том, что очень небольшие количества ^{14}C выделяется при пиролизе, то есть без O₂, с предварительной выдержкой в печи в течении двух часов, с температурой <500 °С и последующим окислением при 700 °С.

По мере увеличения концентрации кислорода перед загрузкой так и температуры выделение ^{14}C из графита увеличивается. Из результатов видно, что при 5% об. O₂ увеличивается удаление ^{12}C , следовательно существует верхний предел по содержанию кислорода. Такие же результаты получили в работе [27]. Для образцов NBG-18 и NBG-25 оптимальными условиями для выделения ^{14}C при сохранении максимального количества насыпного графита являются предварительная загрузка 2 об. % O₂ в течение 2 часов при 300 °С с последующей термообработкой в течение 8 часов. при 700 °С.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

2.2.2 В атмосфере азота

В работе [35] представлена термическая обработка в азоте и азотокислородной среде. Сравнение результатов в чисто инертной и окислительной среде представлено на рисунке 9 и 10 соответственно.

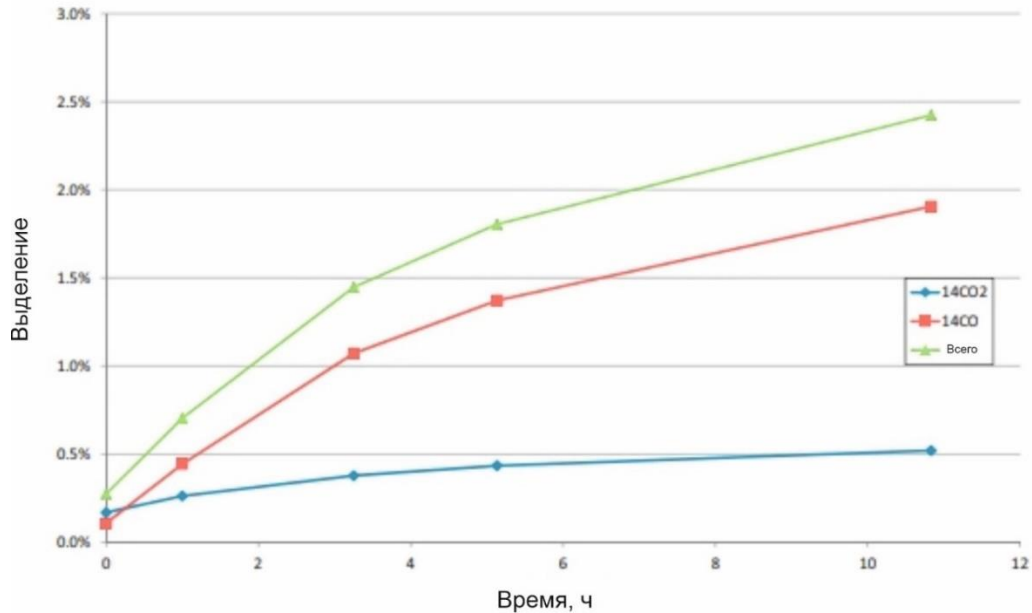


Рисунок 9 – Выделение ¹⁴C из графита Magnox Oldbury 2 в азоте при 1100 °C (потеря массы через 11 часов: 0,14%) [35]

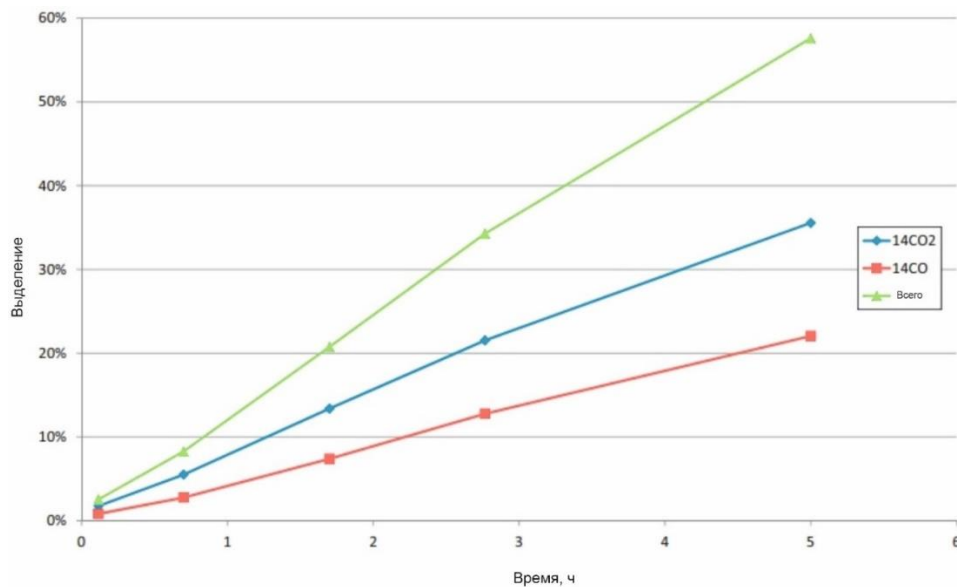


Рисунок 10 – Выделение ¹⁴C из графита Magnox Oldbury 2 в азоте при 1100 °C (потеря массы через 5 часов: 0,70%) [35]

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Из графиков можно сделать вывод, что обработка в чисто инертной среде малоэффективна с точки зрения удаления радиоактивного углерода.

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №				Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ					Лист
										43

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

3.1 Описание исходного образца

В качестве исходного образца был использован не облученный реакторный графит. Реакторный графит, представлен на рисунке 11.

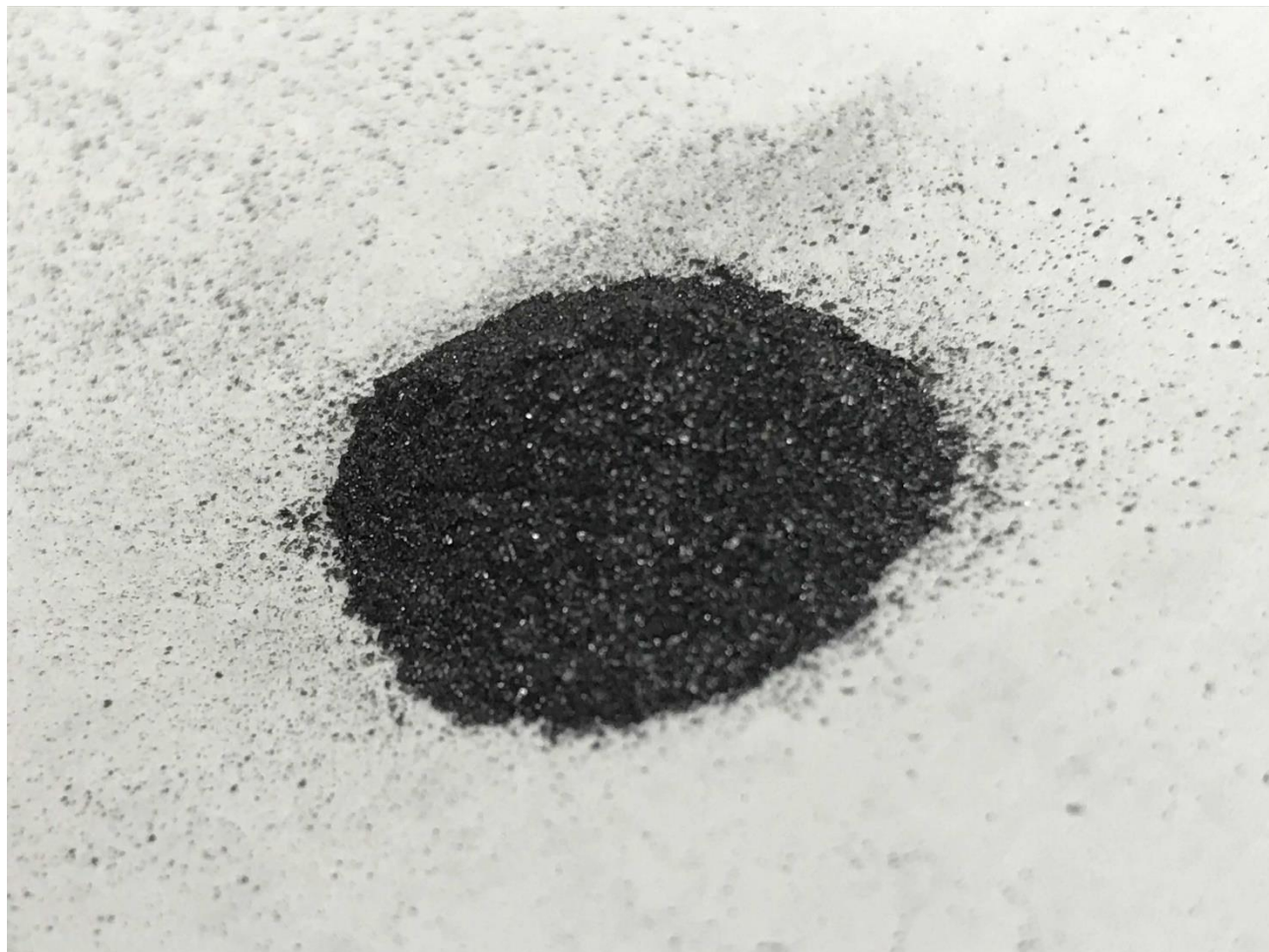


Рисунок 11 – Исходный образец

3.2 Описание добавки и метода нанесения

Активирующая $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ методом пропитки по влагоемкости вводилась в состав образца. Для преодоления гидрофобности графита использовался водо-спиртовой раствор с соотношением 50/50. Влагоёмкость высушенного образца графита (в мл/г) определялась непосредственно перед введением раствора. Затем с помощью механического дозатора приготовленный раствор наносился на порошок графита. Пропитанный порошок графита в течении 20 часов при температуре 105 °С выдерживался в

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

сушильном шкафу. Массовая доля добавки в модифицированном образце составляла 5%. Для сравнительного анализа был приготовлен контрольный образец.

Эксперименты проводились на приборе синхронного термического анализа STA 449 C Jupiter (Netzsch, Germany) при одинаковых условиях. Образец массой 15 мг подвергался нагреванию в корундовом тигле в интервале температур 25-1200 °С при постоянной скорости нагрева 10 °С/мин и атмосферном давлении. В качестве продуваемой среды использовалась смесь воздуха и аргона (150 мл/мин). Состав продуваемой смеси воздух аргон: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100.

Характеристики процесса, определяемые в эксперименте приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики процесса

Характеристика	Обозначение
Температура начала процесса	t_i
Температура окончания процесса	t_f
Максимальная скорость реакции	W_{max}
Максимальная температура	t_{max}
Время до начала разложения	T_e
Общее время термического преобразования	T_f
Время достижения максимальной скорости реакции	T_{max}

Данные характеристики были рассчитаны из данных СТА при помощи графического метода [61].

3.3 Дифференциально-термический анализ

С помощью дифференциально-термического анализа (ДТА) при нагревании и охлаждении можно исследовать наличие химических реакций, фазовые превращения по термическим эффектам и изменению веса. Метод ДТА основан на сравнении термических свойств вещества инертного эталона

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

и исследуемого вещества. Параметры, регистрируемые в процессе эксперимента, является разность температур вещества и эталона при нагревании или охлаждении образца с постоянной скоростью [62]. Совместно с ДТА применялся термогравиметрический анализ (ТГ).

В настоящей работе использовали совмещенный метод ТГ, ДТА и дифференциально-сканирующий калориметр (ДСК). Результаты термического анализа представлены тремя кривыми – ТГ, ДТГ и ДСК.

3.4 Масс-спектрометрический анализ

Состав газообразных продуктов графита определялся на выходе из термического анализатора с помощью квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 D Aeolos (Netzsch, Германия).

Данный метод основан на различие масс и зарядов разных ионов. Ионы двигаются в переменном электрическом поле по спиральным траекториям разного радиуса. Затем ионы с определенным отношением m/e сходятся к оси движения, а другие удаляются.

Результаты представлены в виде масс-спектрометрических профилей, соответствующие СО и сопоставлены с ТГ, ДТГ и ДСК-профилями.

3.5 Методика определения характеристик протекания процесса окисления и пиролиза реакторного графита

Сравнительная оценка характеристик процесса окисления и пиролиза реакторного графита проводилась на основании физических величин (температура, время и скорость реакции окисления и пиролиза), вычисленных графическим методом [63,64] с помощью ТГ- и ДТГ-кривых.

3.6 Энергия активации

Энергию активации выбрали в качестве дополнительной кинетической характеристики окисления и пиролиза реакторного графита. С помощью данной характеристики можно определить количество энергии для протекания реакции. Данную характеристику можно рассчитать с помощью метода Coats–

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Redfern [65–69] на основании полученных данных термогравиметрического анализа.

Уравнение скорости реакции выражается:

$$\frac{d\alpha}{dT} = kf(\alpha) \quad (1)$$

где α – степень конверсии графита и k – константа скорости реакции.

Константа скорости реакции выражена уравнением Аррениуса.

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2)$$

где T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная, равная $8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

Функция от конверсии графита $f(\alpha)$ выражена следующим уравнением:

$$f(\alpha) = 1 - \alpha \quad (3)$$

Поскольку данное термогравиметрическое исследование проводилось при постоянной скорости нагрева $\beta = \frac{dT}{dt} = \text{const}$, то уравнение (1) может быть преобразовано в (4).

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{A}{\beta} e^{-\frac{E_a}{RT}} (1 - \alpha) \quad (4)$$

Проинтегрировав выражение (2.4), получим:

$$\ln \left[-\frac{\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] = \ln \left[\frac{AR}{\beta E_a} \left(1 - \frac{2RT}{E_a} \right) \right] - \frac{E_a}{RT} \quad (5)$$

Учитывая, что $RT/E_a \ll 1$, то выражение (2.5) примет вид:

$$\ln \left[-\frac{\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] = \ln \left[\frac{AR}{\beta E_a} \right] - \frac{E_a}{RT} \quad (6)$$

Решение представленных выше уравнений и определение основных кинетических показателей осуществляется с помощью результатов ТГ анализа путем графического построения зависимости $\ln(-\ln(1-\alpha)/T^2)$ от $1/T$. Далее полученная зависимость рассматриваемая в границах степени конверсии $\alpha=0,1 - 0,9$ [70]. и аппроксимируется прямой линией, в виде $\ln(-\ln(1-\alpha)/T^2) = C_1 + C_2 \cdot 1/T$, где с помощью C_2 можно определить энергию активации E_a .

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе были определены начала и окончания интенсивного окисления по методике, представленной в работе [71]. По ТГ-профилям методом касательных находим начало и окончания интенсивного окисления. Пример определения характеристик на рисунке 12.

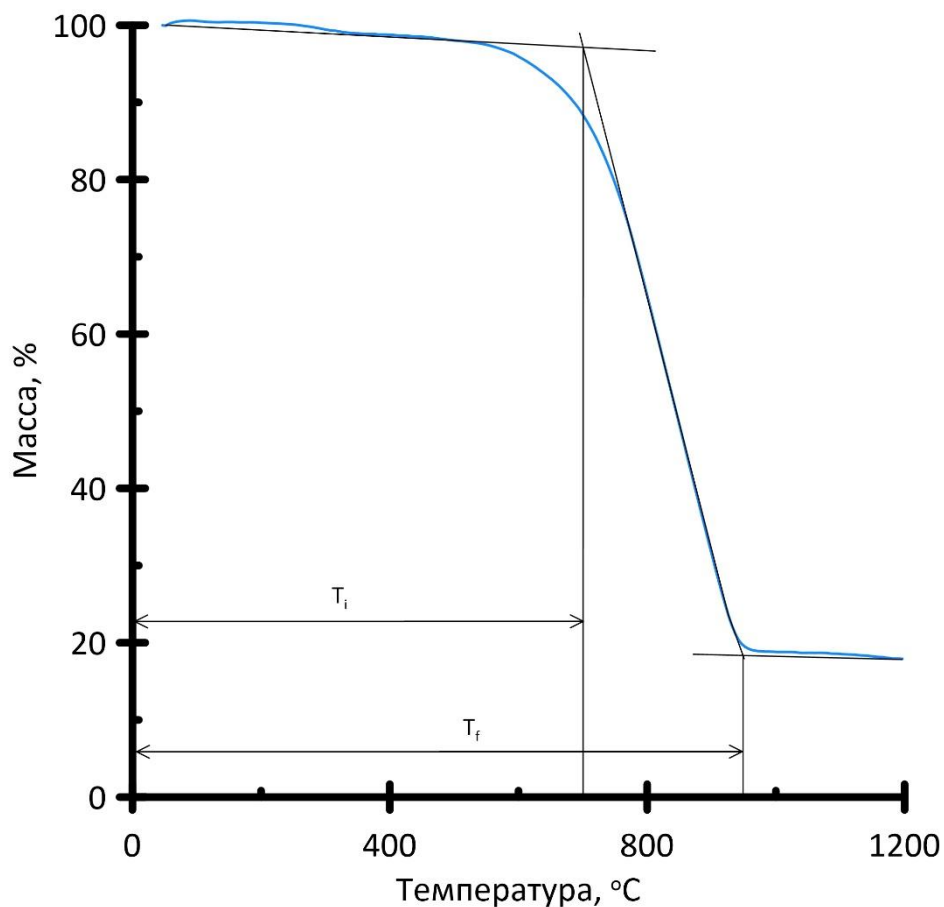


Рисунок 12 – Пример определения начала и окончания интенсивного окисления

После определения температуры необходимо определить время, для этого воспользуемся формулой:

$$T_e = \frac{t_i - t_0}{10} = \frac{680 - 45}{10} = 64 \text{ мин} \quad (7)$$

$$T_f = \frac{t_f - t_i}{10} = \frac{960 - 680}{10} = 28 \text{ мин} \quad (8)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

где, t_i -температура начала интенсивного окисления, t_0 -начальная температура, t_f -температура окончания интенсивного окисления, 10 -темп нагрева ($^{\circ}\text{C}/\text{мин}$)

Для определения максимальной скорости при соответствующей температуре воспользуемся ДТГ кривой. Пример определения показан на рисунке 13.

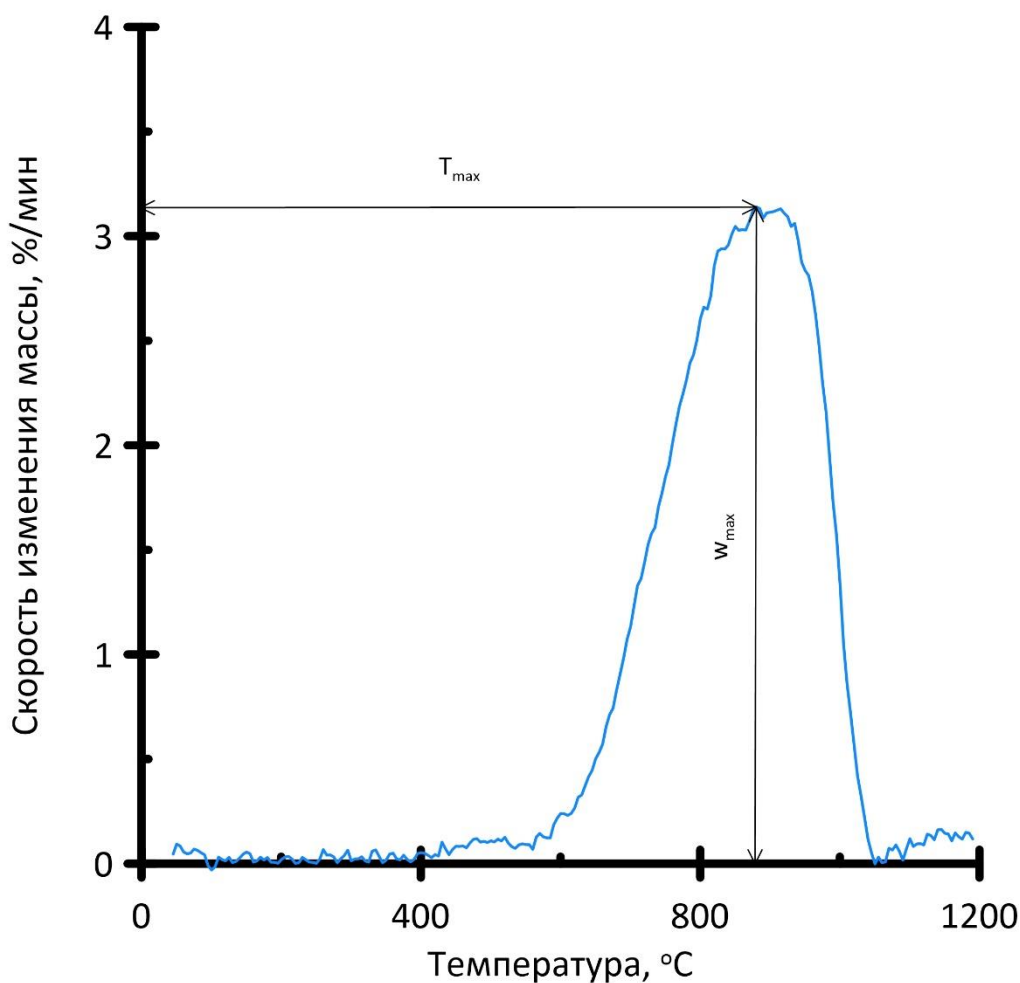


Рисунок 13 – Пример определения максимальной скорости реакции при соответствующей температуре

Время достижения максимальной скорости реакции определим аналогично предыдущим расчетам:

$$T_{max} = \frac{t_{max} - t_0}{10} = \frac{880 - 45}{10} = 83 \text{ мин} \quad (9)$$

где, t_{max} -температура, соответствующая максимальной скорости реакции, t_0 -начальная температура, 10 -темп нагрева ($^{\circ}\text{C}/\text{мин}$)

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Также была определена дополнительная кинетическая характеристика – энергия активации (E_a). Необходимая зависимость в качестве примера представлена на рисунке 14.

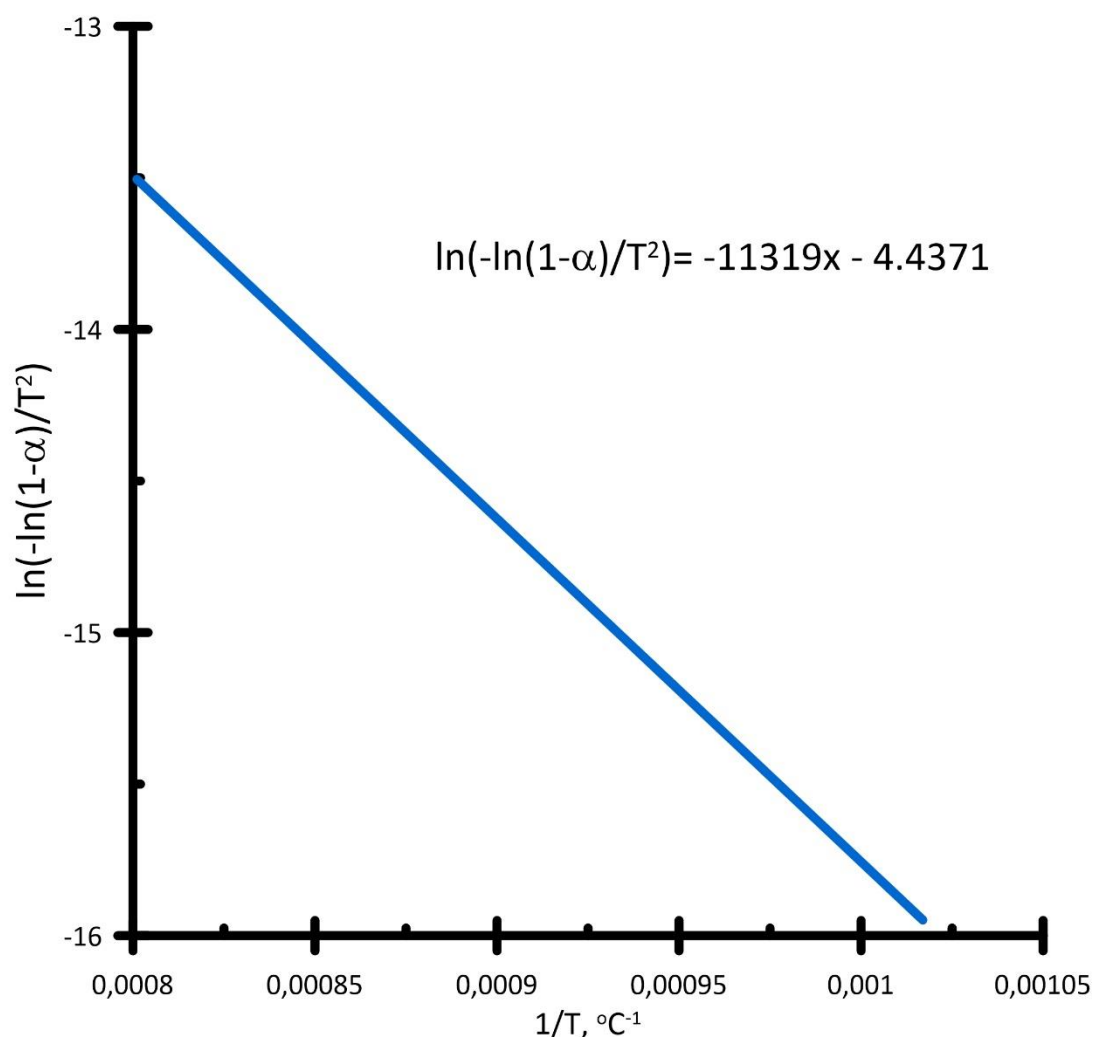


Рисунок 14 – зависимости $\ln(-\ln(1-\alpha)/T^2)$ от $1/T$

Получив аппроксимационную кривую в виде $\ln(-\ln(1-\alpha)/T^2) = C_1 + C_2 \cdot 1/T$ необходимо коэффициент C_2 умножить на универсальную газовую постоянную R получим энергию активации.

$$E_a = -C_2 \cdot R = -(-11319 \cdot 8314) = 94106 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 94.1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (10)$$

Результаты для всех образцов представлены в таблице 8.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	
Взам. инв. №	
Инд. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 8 – результаты расчетов

	$t_0, ^\circ\text{C}$	$t_i, ^\circ\text{C}$	$T_e,$ мин	$t_f, ^\circ\text{C}$	T_f мин	$W_{\max},$ %/мин	$t_{\max},$ $^\circ\text{C}$	T_{\max} мин	$E_a,$ кДж/кг
G1/100	45	680	64	960	28.0	3.14	880	83	94.1
G2/100	47	665	62	940	27.5	3.37	806	76	97.9
G1/75	50	706	66	985	27.9	3.43	915	87	99.7
G2/75	50	685	64	965	28.0	3.34	815	77	103.7
G1/50	50	715	67	1092	37.7	2.45	1030	98	75.8
G2/50	50	695	65	1050	35.5	2.25	980	93	68.8
G1/25	50	720	67	-	-	-	-	-	-
G2/25	50	700	65	-	-	-	-	-	-
G1/0	50	-	-	-	-	-	-	-	-
G2/0	50	-	-	-	-	-	-	-	-

Как видно из таблицы не для всех образцов получилось определить параметры. Это связано с тем, что в преобладающей инертной среде реакторный графит почти не вступал в реакцию со средой это будет наглядно представлено в последующих графиках.

На рисунке 15 представлены результаты термического анализа (ТГ- и ДТГ-профили) исследуемых образцов графита в атмосфере различного состава. Видно, что для всех режимов введение ацетата меди в состав образцов приводит к заметному изменению характера процесса, что выражается в снижении начальной температуры начала термического преобразования графита t_i . Полученные данные ДТГ, характеризуются мономодальным профилем, что связано с высокой степенью углефикации рассматриваемого образца.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

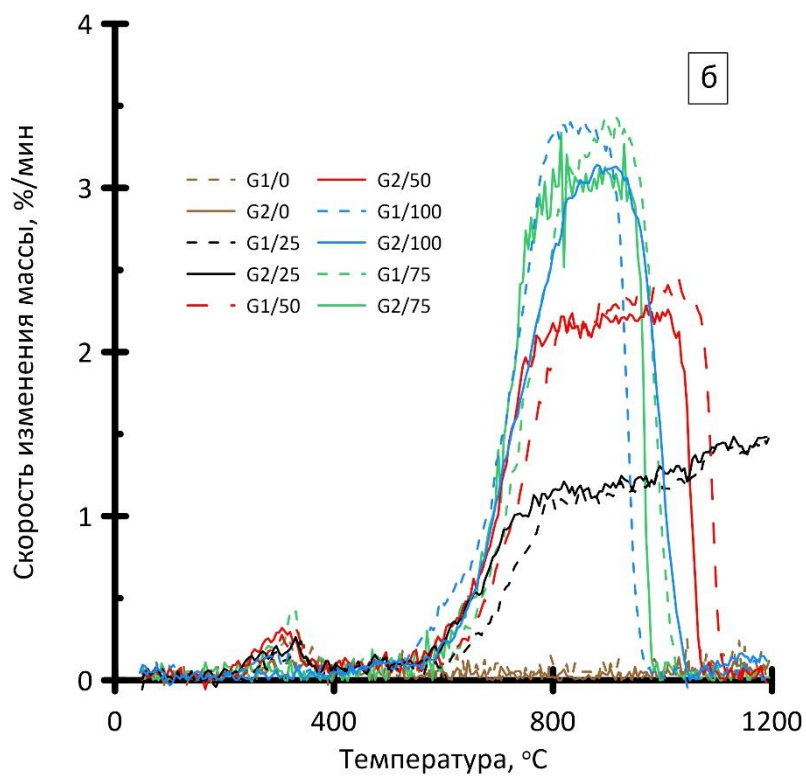
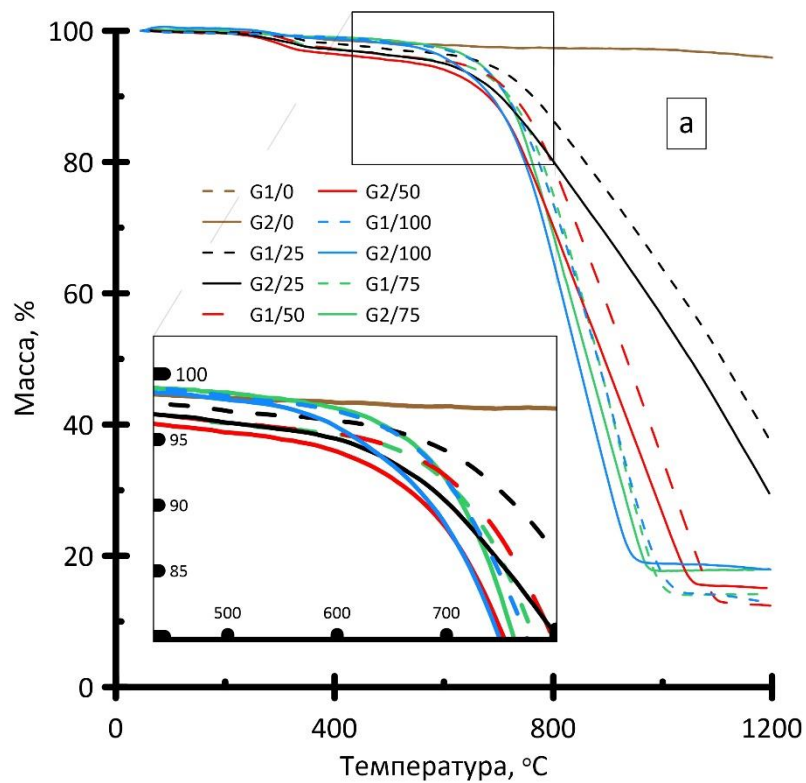


Рисунок 15 – ТГ (а) и ДТГ (б) профили модифицированного и исходного образца

Процесс термического преобразования графита разделяется на 3 основные стадии, связанные с испарением физически адсорбированной влаги,

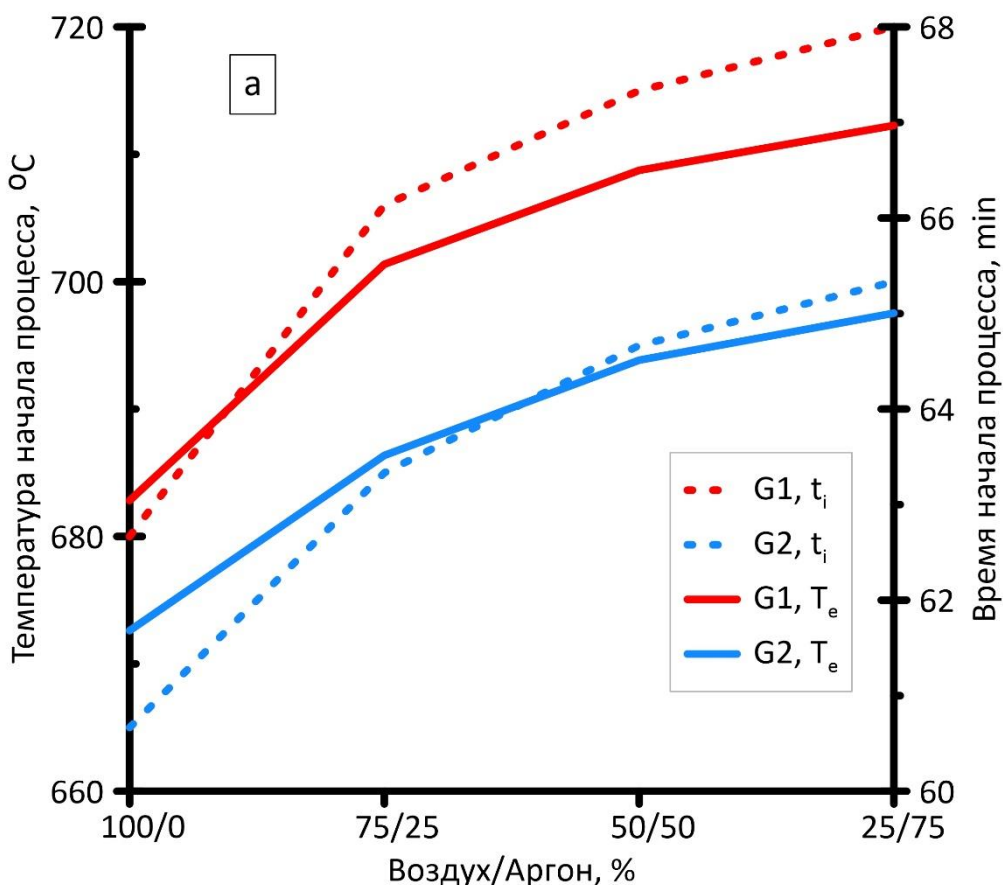
Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

разложение активирующей добавки (для модифицированного образца при температуре около 300 °С) и окислением углерода.

С увеличением доли инертного газа (аргона) в составе газового потока происходит смещение процесса термического разложения исходного образца в область больших температур. При этом для модифицированного образца наблюдается менее интенсивный сдвиг ТГ и ДТГ-кривых (рисунок 15), что может быть связано с активацией процесса термического преобразования графита в результате разложения добавки $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в низкотемпературной области (около 200 °С).

На рисунке 16 представлена зависимость основных характеристик процесса термического разложения графита от состава газовой среды.



Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подп.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

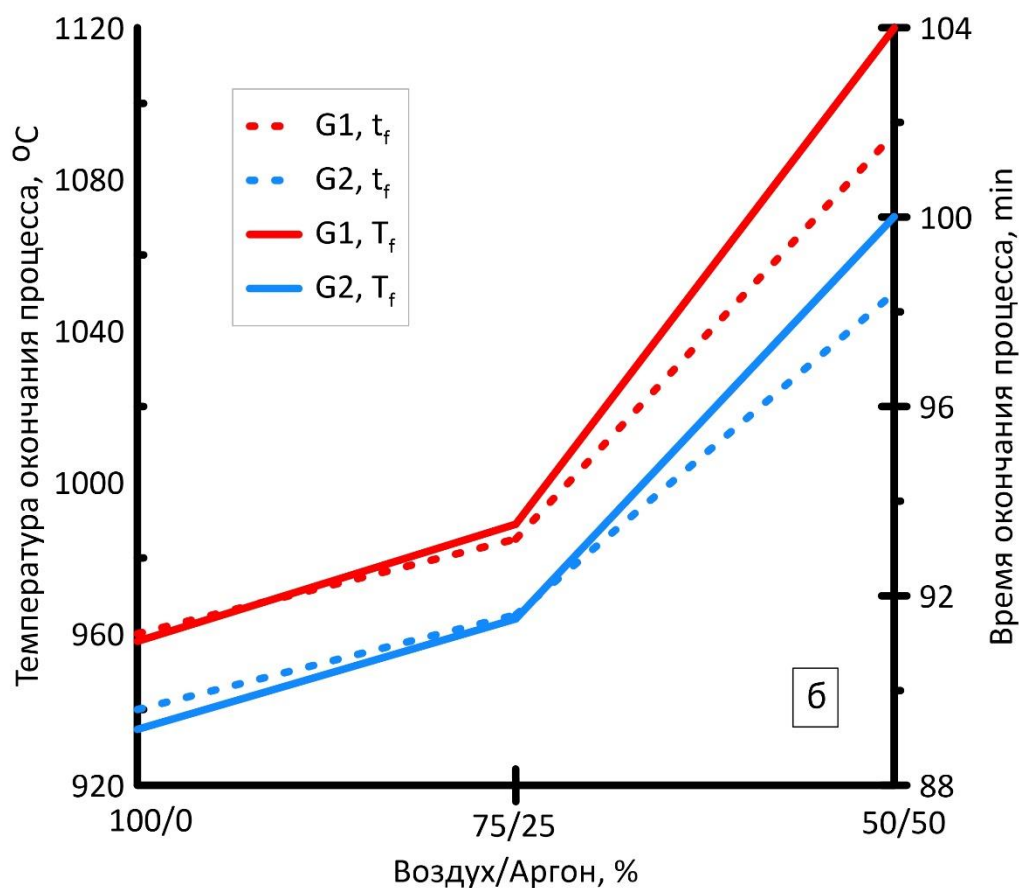


Рисунок 16 – Изменение температуры и время, характеризующих начало выделения и интенсивного окисления летучих соединений (t_i и T_e) (а) и окончание процесса термического разложения (t_f и T_f) (Б) образцов графита в зависимости изменения состава (окислительной/инертной) газовой среды.

Параметры вычислены из данных СТА

Из полученных данных (рисунок 16) видно, что для всех исследуемых образцов с увеличением содержания окислителя в составе газовой среды наблюдается снижение температуры, соответствующей началу (рисунок 16 а) и окончанию (рисунок 16 б) процесса термического разложения графита. Важно добавить, что для образцов, испытанных в среде с наибольшим содержанием инертного газа (воздух/аргон – 0/100), не удалось зафиксировать температуру окончания процесса разложения (рисунок 16 б), т.к. в исследуемом температурном диапазоне (25-1200 °С) общая потеря массы образцов не превышала 5%.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Наибольшее изменение температуры начала интенсивного окисления графита при использовании ацетата меди наблюдалось при соотношении воздух/аргон – 100/0. С увеличением концентрации кислорода в составе газа происходит снижение активности добавки, проявляющейся в снижении температуры начала интенсивного окисления.

Следует отметить, что время нагрева образца до начала окисления углерода (T_e) изменяется аналогично с параметром t_i (рисунок 16 а), т.к. начало термического нагрева исследуемых образцов осуществлялось при температуре 25 °С. В свою очередь, изменение общего времени окисления активной массы образца T_f имеет аналогичный характер (рисунок 16 б). Так, с повышением концентрации инертного газа наблюдалось увеличение значений t_f и T_f , что может свидетельствовать о снижении средней скорости процесса термического разложения образца. При этом, в условиях максимальной концентрации воздуха в газовом потоке наблюдается наибольшее снижение t_f (рисунок 16 б). Таким образом, для модифицированного образца G2 ΔT_f составило 2 мин. Наблюдаемое увеличение средней скорости протекания процесса может быть связано с активностью взаимодействия окислительной среды с выделяемым оксидом углерода и образующимся нестехиометрическим оксидом меди [72], которые характеризуются высокой активностью в процессе окисления горючего субстрата.

С увеличением доли окислителя в газовом потоке также наблюдается смещение t_{max} в область меньших температур (рисунок 17 а). Смещение t_{max} (от максимального к минимальному содержанию окислителя в потоке) составило 150 °С.

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

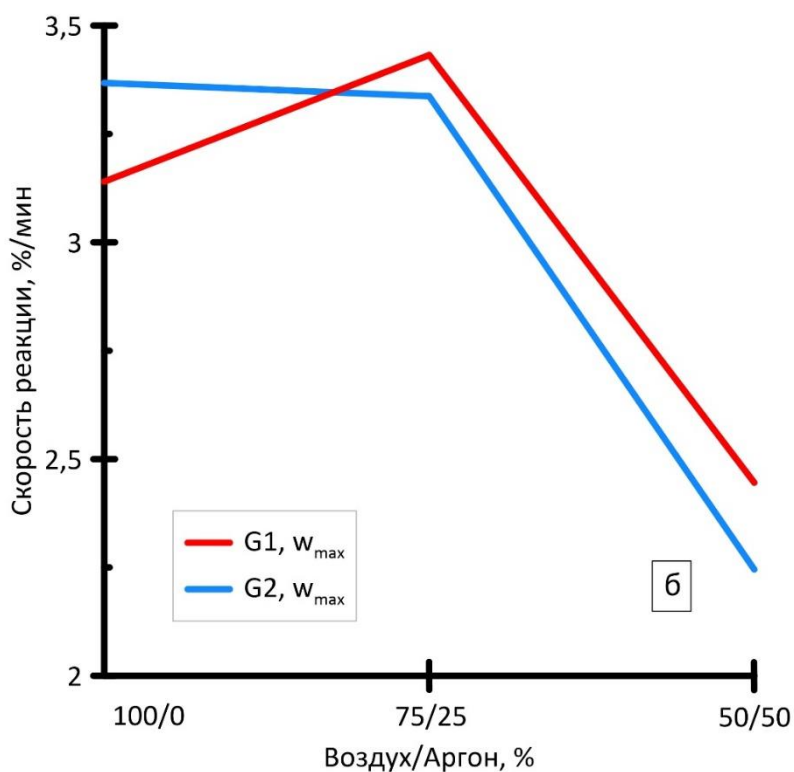
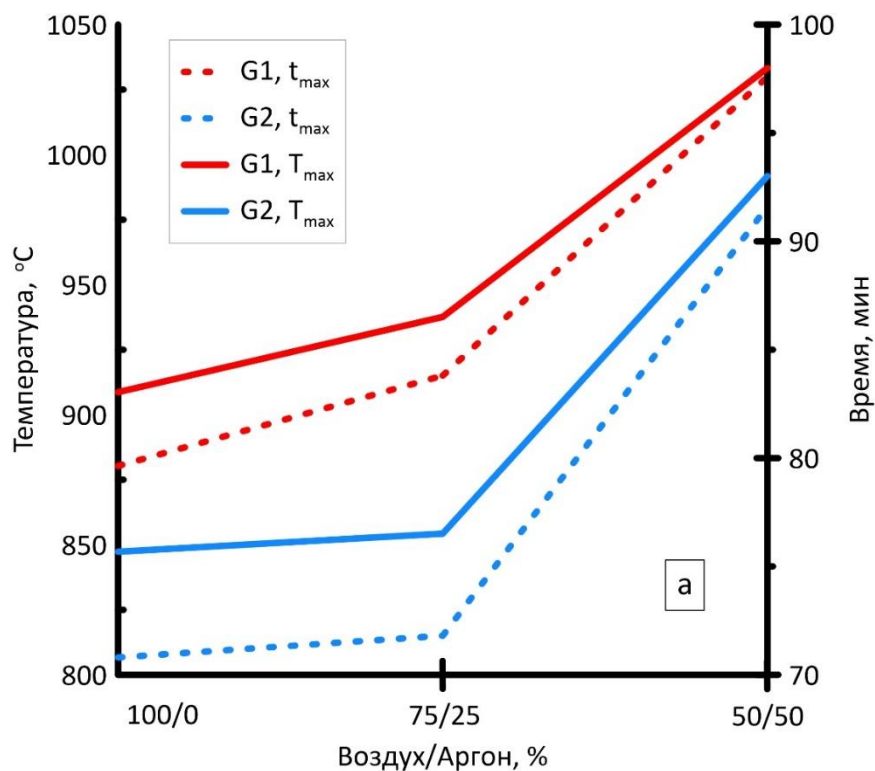


Рисунок 17 – Изменение максимального значения скорости потери массы образца (w_{max}) (б) при соответствующем времени (T_{max}) и температуре (t_{max}) (а) в зависимости изменения состава (окислительной/инертной) газовой среды. Параметры вычислены из данных СТА

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Для модифицированного образца изменение данного параметра было в диапазоне от 50 до 100 °С. Также отметим, что с увеличением концентрации инертного газа наблюдается уменьшение различий между модифицированным и исходным образцом.

С увеличением доли инертного газа время достижения максимальной скорости окисления T_{max} для модифицированных образцов приобретает аналогичный характер, как в случае изменения параметра t_{max} (рисунок 17 а). Данный эффект связан со снижением активности добавки, влияющей на интенсивность окисления углерода. Также отметим, что наибольшее изменение времени t_{max} наблюдается в случае использования среды с содержанием окислителя 75% ($\Delta T_{max} = 10$ мин).

Из рисунка 17 б видно, что с повышением доли аргона в составе газа снижается максимальная скорость процесса w_{max} . Изменение данного параметра имеет нелинейный характер. Для процесса, пребывающего в средах воздух/аргон 75/25 и 50/50, максимальная скорость реакции для исходного образца выше, чем для модифицированного, что связано с интенсификацией процесса окисления и его переноса в низкотемпературную область.

На рисунке 18 представлена качественная зависимость выделения CO_2 от температуры в виде МС-профиля. Форма МС-профиля для CO_2 ($m/z=44$) – основного продукта окисления графита, фактически повторяет профиль соответствующей ДТГ-профиля (рисунок 15 б).

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
	Инв. № дубл.
	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

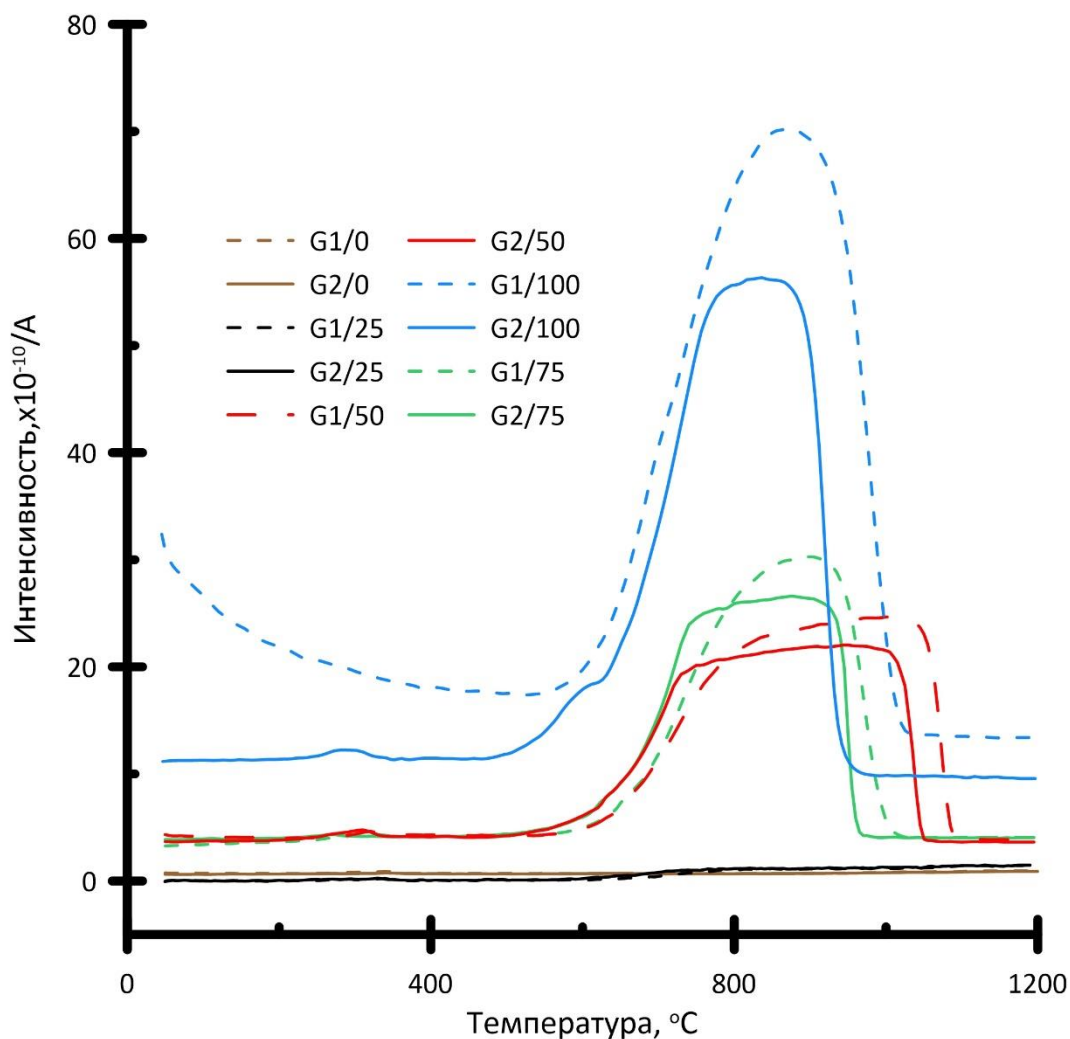


Рисунок 18 – Температурная зависимость выделения CO_2 для процесса окисления реакторного графита при различном составе газа

Все представленные на рисунке 18 профили, имеют мономодальный вид. Наибольшая интенсивность выделения CO_2 наблюдается для образцов, пребывающих в среде с максимальной долей окислителя (воздуха). Эти данные коррелируют с полученными значениями ДТГ-профиля, где для аналогичных условий прослеживается максимальная скорость реакции термического преобразования исследуемых образцов. Как упоминалось выше для образцов, пребывающих в инертной среде аргона выделение CO_2 не зафиксировано ввиду отсутствия окислительного процесса.

Важно также добавить, что с увеличением доли инертной составляющей газового потока, наблюдается уширение МС-профилей с

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

характерным снижением интенсивности выделения CO_2 , что говорит о замедлении скорости процесса окисления.

На рисунке 15 представлена зависимость изменения массы от температуры. Из рисунка видно, что в окислительной среде от исходного образца остается не значительное количество. Результаты изменения массы графита для различных температур представлены в приложении А.

Разница образцов G1 и G2 связана с образованием оксида меди в процессе разложения ацетата меди. Зольный остаток G1/50 меньше, чем G1/100 из-за погрешности прибора. В остальных случаях же видно, что с уменьшением окислителя в составе продувочной смеси зольный остаток уменьшается. Интенсивное уменьшение массы для большинства образцов лежит в промежутке от 700 до 800 °С.

Аналогичное уменьшение массы для таких же температур удалось добиться в других работах [52–54] однако состав окислительной среды отличался. Для преобладающей инертной среды при тех же температурах и времени проведения опыта результаты хорошо согласованы с работами [17,35,52]. Следует отметить, что термическая обработка в чисто инертной среде мало эффективна, из результатов эксперимента (приложение А) видно, что потеря массы составила всего около 5 %. Для окислительной же среды потеря массы достигала почти 90%, что хорошо согласуется с результатами работы [42].

Инд. № подп	
Подп. и дата	
Инд. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Анализ проекта

Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов НИР эксплуатирующие организации АЭС, различные НИИ использующие графитовые реакторы.

Отрасль применения: атомная отрасль.

Основными сегментами данного рынка являются крупные компании и научно-исследовательские институты.

SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 9 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкие температуры утилизации по сравнению с другими технологиями С2. Меньше затрачиваемого времени и энергии по сравнению с другими технологиями С3. Возможность проведения эксперимента на установках из других исследований	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Большое количество конкурентов Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования
--	--	---

Ине. № подл.	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Продолжение таблицы 9

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В3. Возможность использование обработанного графита</p>	<p>Данный эксперимент возможно проводить на установках из других исследований, для этого в ТПУ есть все необходимое оборудование.</p>	<p>Повышение квалификации кадров</p> <p>Привлечение зарубежных заказчиков</p> <p>Развитие инфраструктуры</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ограничение экспорта на технологии</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий утилизации реакторного графита</p>	<p>Существующие исследования в данной области уже используются в некоторых странах, однако из-за высоких температур данные разработки не получили широкого применения.</p>	<p>Из-за специфики работы с реакторным графитом возможны трудности с распространением технологии.</p> <p>Дополнительные требования от государства и отсутствие специалистов может сильно на распространение внутри страны.</p>

5.2 Инициация проекта

5.2.1 Цели и результаты проекта.

Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 10.

Таблице 10 – Стейкхолдеры проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Томский политехнический университет	Реализация проекта
Росатом	Возможность использование технологии
Конкурирующие разработки	Провал проекта

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

В таблице 11 представлены цели и результаты проекта

Таблица 11 – Цели и результаты проекта

Цель проекта:	Обоснование термической утилизации реакторного графита экспериментальным способом
Ожидаемые результаты проекта:	Реализация более низких температур и уменьшение затрат времени на утилизацию
Критерии приемки результата проекта:	Использование температур не более 1200 °С
Требования к результату проекта:	Требование:
	Сокращение времени обработки графита
	Применение низких температур
	Экологически приемлем

5.3 План проекта

5.3.1 Разработка календарного плана работ

В данном случае наиболее удобным является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганга.

Календарный план-график в виде диаграммы Ганга

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

График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИР по теме

Код	Вид работ	Время, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Изучение литературы, составление литературного обзора	28	03.08	31.08	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
2	Эксперимент	26	01.09	27.09	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
3	Обсуждение полученных результатов	31	28.09	28.10	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
4	Оформление выводов	16	29.10	15.11	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
5	Оформление пояснительной записки	16	16.11	31.11	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
6	Возможные корректировки	31	1.12	31.12	Калтаев А.Ж., Губин В.Е.
И т о г о:		147	03.08	31.12	

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Изучение литературы, составление литературного обзора	Студент, Руководитель	28																		
2	Эксперимент	Студент, Руководитель	26																		
3	Обсуждение полученных результатов	Студент, Руководитель	31																		
4	Оформление выводов	Студент, Руководитель	16																		
5	Оформление пояснительной записки	Студент, Руководитель	15																		
6	Возможные корректировки	Студент	31																		



– Студент



– Руководитель

Подп. и дата
 Подп. и дата
 Инв. № дубл.
 Взам. инв. №
 Инв. № подл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

5.4 Бюджет научного исследования

В данной работе были закупки только расходных материалов для проведения эксперимента которые сведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Балон с аргоном	Аргон высокой чистоты ГОСТ 10157-79	1	1450	1450
Ацетат меди (II)	Медь уксуснокислая «чда»	1 кг	2100	2100
Графит реакторный	Графит для реактора РБМК	150 мг	Неизвестно (не продается)	–
Всего за материалы				3550
Транспортно-заготовительные расходы (3...5%)				150
Итого по статье С _м				3700

Для данного исследования специального оборудования не закупалось, использовался уже имеющийся прибор STA 449 F1 Jupiter. Для этого прибора и посчитаем амортизацию

Стоимость прибора составляет 4.5 млн. рублей, данным прибором пользовались 1 месяц при сроке службы 15 лет. Следовательно амортизация

составляет $A = 4500000 \cdot \frac{1}{12 \cdot 15} = 25000$ рублей.

Инв. № подл. Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	147	147
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	50	50
- праздничные дни	1	1
Потери рабочего времени		
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	96	96

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от университета:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата работника; $T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня за полгода $M = 4,7$ месяца, 5-дневная неделя; $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

	$Z_{б}$, руб.	k_p	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$ раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35203	1,3	45764	2240,5	96	163558,3
Студент	2048	1,3	2662	130,3	96	12513,3

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей НИОКР

Заработная плата	Руководитель
Основная зарплата	163558,3
Дополнительная зарплата (15%)	24533,7
Итого по статье С _{зп}	188092

Ниже приведен расчет по статье «Отчисления во внебюджетные фонды», то есть отчисления в пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн} = 163558,3 \cdot 0,30 = 49067,5 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30 % ((22% – пенсионное страхование, 5,1% – медицинское, 2,9% – социальное).

Накладные расходы лаборатории составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле;

$$C_{внеб} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}) = 0,8 \cdot 188092 = 150473,6 \text{ руб.}$$

, где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Прочие прямые затраты

В эти расходы включены затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием.

$$C_{проч.п.} = C_{1кВт} \cdot n = 5,8 \cdot (168 \cdot 5) = 4872 \text{ руб.}$$

$$n = (\text{часы работы} \cdot \text{кВт} \cdot \text{час}) - \text{количество кВт.}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Итого плановая себестоимость, руб.
Материалы	3700
Амортизация оборудования	25000
Основная заработная плата	176071,6
Дополнительная заработная плата	24533,7
Отчисления на социальные нужды	49067,5
Научные и производственные командировки	—
Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	—
Прочие прямые расходы	4872
Накладные расходы	150473,6
Итого себестоимость НИР	433712,4

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ

Лист

68

5.5 Реестр рисков проекта

Таблица 19 – Реестр рисков проекта

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способ смягчения риска	Условия наступления
Риски персонала	Получение технологии конкурентами Невозможность наладить качественное производство	1	4	Средний	Постоянный поиск и подготовка кадровой смены Подготовка технической документации	Возникновение дефицита кадров на рынке
Риски персонала	Невозможность производства требуемого объема продукции Снижение качества производимой продукции	4	1	Средний	Постоянный поиск и подготовка кадровой смены Сотрудничество с профильными ВУЗам	Возникновение дефицита кадров на рынке
Рыночные риски	Снижение объема продаж Давление к снижению цен и маржинальности продаваемой продукции	5	2	Средний	Разработка политики по продвижению продукции на рынок, включая ценовую политику Поиск новых каналов продаж Выход на иностранные рынки	Появление зарубежных конкурентов

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Продолжение таблицы 19

Технологические риски	Потеря конкурентного преимущества	2	3	Низкий	Своевременное получение патентов	Кража технологии сотрудником
Риски, связанные со строительством и оборудованием	Дополнительные расходы • Штрафные санкции по заключенным	2	2	Низкий	Приобретение необходимых приборов и оборудования Техническое обслуживание	Сбои в работе оборудования по производству комплектующих компании

5.6 Выводы по разделу

Результатом выполнения работы по данному разделу стали следующие данные:

- на выполнение проекта потребуется затратить 96 календарных дней;
- суммарная стоимость разработки 433712,4 рубль, а наибольшая статья расходов – расходы на заработную плату.

Данный метод утилизации реакторного графита можно рассматривать как для промышленных нужд при выводе реакторов типа РБМК из эксплуатации для создания “зеленой площадки”, а также для НИИ, которые располагают исследовательскими реакторами применяющие графит.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Ине. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Объект исследования: вещество, материалы.

Исследован процесс термического преобразования реакторного графита, модифицированный активирующей добавкой $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (5 мас.%). Нанесение ацетата меди на образцы реакторного графита осуществлялось методом пропитки по влагоемкости с предварительным растворением $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в водно-спиртовом растворе, с объёмным соотношением $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{H}_2\text{O} = 50/50$. Активирующие свойства добавки в условиях изменения состава обдуваемой газовой среды (воздух/аргон) были изучены методом термогравиметрического анализа при скорости нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале температур $25\text{-}1200^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении. Исследование проходило в лаборатории НИЦ “Экоэнергетика 4.0”.

Данный метод может быть рассмотрен для утилизации реакторного графита при выводе из эксплуатации реакторов типа РБМК.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Из трудового кодекса РФ [73] следует, что продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 часов при пятидневной неделе, и 48 часов при шестидневной.

Все работники лаборатории обязаны пройти инструктаж по технике безопасности: знать меры при возникновении ЧС, расположение первичных средств пожаротушения, план эвакуации и нахождение кнопок оповещения.

Существуют методические рекомендации, которые необходимо соблюдать работнику лаборатории [74]:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
											71

- к работе не допускаются лица, не прошедшие инструктаж (периодичность - 2 раза в год);
- работа с химическими веществами запрещена беременным женщинам и несовершеннолетним;
- периодичность медосмотров- раз в год.
- Все работающие в лаборатории должны быть обеспечены необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Эффективность и безопасность труда возможна только в случае, если производственные условия рабочего места всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

В данной работе основным атрибутом рабочего места человека, который проводит эксперимент, является лабораторный стенд, который состоит из установки, на которой проводится термогравиметрический анализ и газовые баллоны, подключенные к этой установке. Основная часть работы проходит в положении стоя.

Эффективное выполнение задачи требует соответствующую организацию рабочего места. По данным [75] она включает три основных направления: оснащение, обслуживание и планировка рабочего места.

К оснащению рабочего места относится его укомплектование основным технологическим и вспомогательным оборудованием, технологической и организационной оснасткой в количестве, которое необходимо и достаточно для эффективного и качественного решения поставленной задачи.

К обслуживанию рабочего места относится его регламентированное обеспечение рабочим инструментом и предметом труда, всеми необходимыми видами услуг, в том числе и электрической энергией, в количестве, которое

Ине. № подл.	
Подп. и дата	
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

необходимо и достаточно для поддержания непрерывной и заданной интенсивности процесса труда.

К планировке рабочего места относится такое размещение оборудования, элементов оснастки, предметов труда, при котором достигается их оптимальное расположение и досягаемость при выполнении работ.

Удобство рабочей позы, предотвращение лишних движений, исключение ненужных перемещений, снижение утомляемости, а, следовательно, сокращение потерь рабочего времени достигается за счет рациональной планировки и эргономичности рабочего места.

Организация рабочих мест в лабораторных помещениях требует выполнения следующих условий:

1. Обеспечение свободного и достаточного для необходимых движений и перемещений пространства;
2. Эффективность естественного и искусственного освещения;
3. Сохранение нормированного микроклимата;
4. Соблюдение норм акустического шума.

Каждый работник имеет право на [73]:

Рабочее место, которое соответствует всем необходимым требованиям охраны труда;

Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

Отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Профессиональную переподготовку за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения требований охраны труда;

Внеочередной медицинский осмотр (обследование) в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра (обследования);

Компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

На работах с особо вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

6.3 Профессиональная социальная безопасность.

6.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Так как в данной работе проводились опыты на свежем (не облученном) реакторном графите, и масса образца была незначительной (15 мг), в процессе исследования не было влияние вредных и опасных факторов от объекта исследования.

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Таблица 20 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ	Нормативные документы
	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
2. Превышение уровня шума	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений
4. Опасность и вредность воздействия газовых компонентов	+	ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия

7.3.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклиматом называется совокупное воздействие на человека таких факторов, как температура и влажность воздуха, его скорость движения, барометрическое давление и т.д.

Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, терморегуляцию его организма, утомляемость и внимательность. Таким

Инв. № подл. Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

образом длительное воздействие неблагоприятных микроклиматических условий приводит к снижению работоспособности и может вызвать различные заболевания человека. Нормы производственного микроклимата регламентируются в [76].

Показатели микроклимата в лабораторных помещениях:

- Температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

По данным [76] работа в лабораторных помещениях относится к категории Па. Согласно этой категории, уровень энергозатрат при этом составляет 151-200 ккал/ч. Энергозатраты в данном случае расходуются на постоянную ходьбу и перемещение мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении сидя или стоя и требующих определенного физического напряжения.

Таблица 21 – Оптимальные параметры микроклимата [76]

Период года	Категория работ	Параметры воздушной среды на рабочих местах		
		Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па(175-232)	19-21	60-40	0,2
Теплый	Па(175-232)	20-22	60-40	0,2

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 22 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [76]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		ниже оптимальных	выше оптимальных			ниже оптимальных	выше оптимальных
Холодный	Па(175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
Теплый	Па(175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,4

7.3.2.2 Превышение уровня шума

Шум – беспорядочные колебания различной физической природы, один из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов окружающей среды, приобретающих важное социально-гигиеническое значение, в связи с урбанизацией, а также механизацией и автоматизацией технологических процессов. Длительное воздействие шума может привести к тугоухости или даже к глухоте. Также шум оказывает воздействие на нервную систему, вызывая учащение пульса и дыхания, увеличение расхода энергии, что приводит к более раннему переутомлению и истощению. Невнимательность, подавленное состояние, заторможенность интеллектуальных процессов являются результатом воздействия шума на психику человека. Все это в совокупности влечет за собой снижение производительности труда и работоспособности.

Источниками шума в данной работе будут газовые баллоны, подключаемые к установке и нагнетающие газ.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

По данным [77] максимально допустимый уровень шума в лабораторных помещениях 75 дБА.

Таблица 23 – Допустимый уровень шума в лабораторных помещениях [77]

	Уровни звукового давления, дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Лабораторное помещение	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

7.3.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильно организованное освещение повышает работоспособность и эффективность труда, снижает травматизм, сохраняет низкий уровень утомления и повышает безопасность рабочего места. Слабое освещение приводит к преждевременному утомлению, ослаблению внимания и перенапряжению зрительных органов. Повышенный уровень освещения ведет к рези в глазах и слепоте. Дезориентацию вызывает неправильное направление света на рабочем месте.

Нормы освещенности рабочего места и основные требования даны в [78].

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	Взам. инв. №
Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Таблица 24 – Норма освещенности на рабочем месте производственных помещений при искусственных источниках света [78]

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						всего	общее число	
Высокой точности	0,30	III	б	малый	средний	1000	200	300
				средний	темный	50	200	200

7.3.2.4 Опасные и вредные воздействия газовых компонентов

При проведении опытов в качестве инертной среды был использован аргон в различных объемах.

Аргон нетоксичен и невзрывоопасен, однако представляет опасность для жизни: при его вдыхании человек мгновенно теряет сознание, и через несколько минут наступает смерть. Наркотический эффект от вдыхания аргона проявляется только при барометрическом давлении свыше 0,2 МПа. Содержание аргона в высоких концентрациях во вдыхаемом воздухе может вызвать головокружение, тошноту, рвоту, потерю сознания и смерть от асфиксии (в результате кислородного голодания). В смеси аргона с другими газами или в смеси аргона с кислородом при объемной доле кислорода в смеси менее 19% развивается кислородная недостаточность, при значительном понижении содержания кислорода – удушье [79].

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

6.4 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

6.4.1 Мероприятия по защите от воздействий микроклимата

Благоприятные параметры микроклимата в лабораторных помещениях достигаются за счет:

- Вентиляции и отопления;
- Применения средств индивидуальной защиты;
- Организации защиты от тепловых излучений, которая способствует снижению температуры воздуха в помещении.

Принимаемые меры по обеспечению благоприятного микроклимата имеют сезонный характер. Во время холодного период влажность воздуха, как правило, снижается, что вызывает дискомфорт у работников. Эту проблему можно решить использованием увлажнителей воздуха. В теплое же время года для поддержания рекомендуемой температуры воздуха и влажности необходимо применение кондиционеров. Правильно спроектированная система вентиляции, которая исключает образование застойных зон, создает приемлемый уровень воздухообмена в разные периоды года.

6.4.2 Мероприятия по защите от воздействий шума

Все меры по снижению шума при работе в лабораторных условиях достигаются за счет следующих методов:

1. Применения средств и методов коллективной защиты [75];
2. Применения средств индивидуальной защиты [73].

К средствам индивидуальной защиты относятся наушники, вкладыши, шлемы и заглушки.

Коллективная защита осуществляется за счет:

1. Применения звуковой изоляции;

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

2. Совершенствования оборудования для снижения шума;
3. Изменения направления шума;
4. Планировки помещений и зданий.

6.4.3 Мероприятия по защите от воздействия освещения

Два основных типа искусственных источников света:

- Лампы накаливания;
- Люминесцентные лампы.

Люминесцентные лампы имеют следующие преимущества перед лампами накаливания:

- По электромагнитному спектру близки к солнечному свету;
- Значение светотдачи превышает светотдачу ламп накаливания в 3-4 раза;
- КПД выше в 1-2 раза, чем у ламп накаливания;
- Более длительный срок службы.

Лампы делятся по составу видимого спектра на лампы:

1. Белого света (ЛБ);
2. Холодного белого света (ЛХБ);
3. Теплого белого света (ЛТБ);
4. Дневного света (ЛД);
5. Дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ).

Лампы белого света получили наибольшее распространение. Самыми распространенными светильниками с люминесцентными лампами являются открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО.

Таким образом для поддержания необходимого уровня освещенности был произведен расчет, который приведен в приложении А.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.4.4 Мероприятия по защите от воздействия газовых компонентов

Для предотвращения этого влияния необходимо соблюдать следующие правила [80]:

Помещения, где расположены баллоны, наполненные газом, должны иметь естественную или искусственную вентиляцию.

Перемещение баллонов на объектах их применения (местах производства работ) должно производиться на специально приспособленных для этого тележках или с помощью других устройств, обеспечивающих безопасность транспортирования.

При использовании и хранении баллонов не допускается их установка в местах прохода людей, перемещения грузов и проезда транспортных средств.

При эксплуатации баллонов не допускается расходовать находящийся в них газ полностью, и т.д.

6.5 Экологическая безопасность.

Под экологической безопасностью понимается приемлемый уровень деструктивного влияния природных и антропогенных факторов экологических опасностей, которые представляют угрозу для окружающей среды и человека.

6.5.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

В качестве исходного образца использовался реакторный графит необлученный, который достаточно инертен и не вступает в реакцию самопроизвольно. Сам образец не влияет на окружающую среду.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6.5.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

Исследование необлученного реакторного графита в данном случае не влияет на окружающую среду. Единственные вредные газы выделяемые в процессе исследования были монооксид и диоксид углерода, но из-за малой массы образца (15 мг) влияние было несущественным.

6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

6.6.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

В данном случае объект исследования не может инициировать ЧС. Так как для того же возгорания ему необходимы достаточно высокие температуры (800 °С). Реакторный графит очень инертный материал и не вступит в реакцию на воздухе с каким-либо реагентом. Эти факторы исключают возникновение ЧС из-за объекта исследования.

4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

При проведении эксперимента образец нагревается до высоких температур (1200 °С), при разгерметизации установки и попадания туда дополнительного окислителя (кислорода) возможно возгорание. Поэтому вероятным ЧС будет возникновения пожара.

4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

В процессе проектирования установки возможно возникновение следующих ЧС:

- пожары;
- теракт;

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

- землетрясения;
- обрушение зданий.

При этом наиболее вероятным ЧС для лаборатории является пожар.

Помещение лаборатории относится к категории пожарной опасности ВЗ [81]. В пожароопасных помещениях объем и характер организационно-технических мероприятий зависит от категории пожарной опасности помещения и должен включать [82]:

- организацию пожарной охраны;
- паспортизацию веществ, материалов, изделий, технологических процессов в части обеспечения пожарной безопасности;
- привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности;
- организацию обучения работающих правилам пожарной безопасности на производстве;
- разработку и реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и действиях людей при возникновении пожара;
- изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности;
- порядок хранения веществ и материалов, тушение которых недопустимо одними и теми же средствами, в зависимости от их физико-химических и пожароопасных свойств;
- нормирование численности людей на объекте по условиям безопасности их при пожаре;
- разработку мероприятий по действиям администрации, рабочих и служащих на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей;

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- основные виды, количество, размещение и обслуживание пожарной техники по ГОСТ 12.4.009. Применяемая пожарная техника должна обеспечивать эффективное тушение пожара (загорания), быть безопасной для природы и людей.

Для детектирования и оповещения лабораторного помещения применяются установки пожарной сигнализации, соответствующие [83]. Поскольку в лаборатории применяются электрические установки и установки, содержащие горючие жидкости, то применение воды недопустимо для тушения пожара [84]. Средства пожаротушения должны справляться с пожарами класса В (горение жидких веществ) и Е (пожары электрооборудования, находящегося под напряжением). В связи с этим для тушения пожаров в лаборатории могут применяться огнетушители порошкового (ОП), углекислотного (ОУ) и воздушно-эмульсионного (ОВЭ) типов, соответствующие [85].

6.7 Выводы по разделу

В данном разделе были изучены опасные и вредные факторы труда инженера, а также предложены меры защиты от них, рассмотрены требования по технике безопасности. Анализ показал, что объект исследования и процесс исследования не влияет на окружающую среду. По всем рассмотренным критериям можно утверждать, что данная лаборатория удовлетворяет всем требованиям.

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
	Инв. № дубл.
	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

7.1 Описание объекта автоматизации

Исследование проводило на установке синхронного термического анализа STA 449 C Jupiter схема которого представлена на рисунке 19. Образец массой 15 мг загружался в корундовый тигель после чего его нагревали при постоянной скорости нагрева до 1200 градусов. Эксперимент проводил при постоянной продувке (150 мл/мин) смеси газов воздуха и аргона. Процентное соотношение воздух/аргон составляло: 0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0.

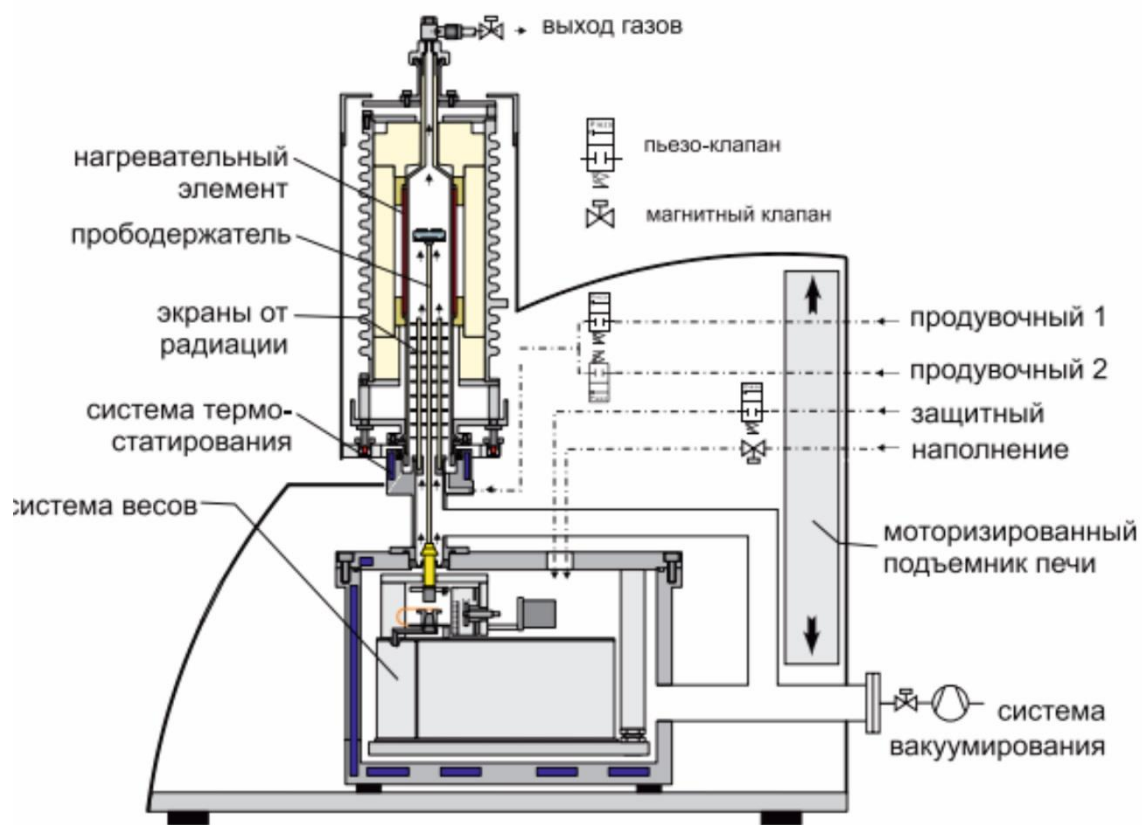


Рисунок 19 – Схема установки

7.2 Выбор схемы реализации автоматической системы регулирования

В качестве объекта регулирования была выбрана температура корундового тигля.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

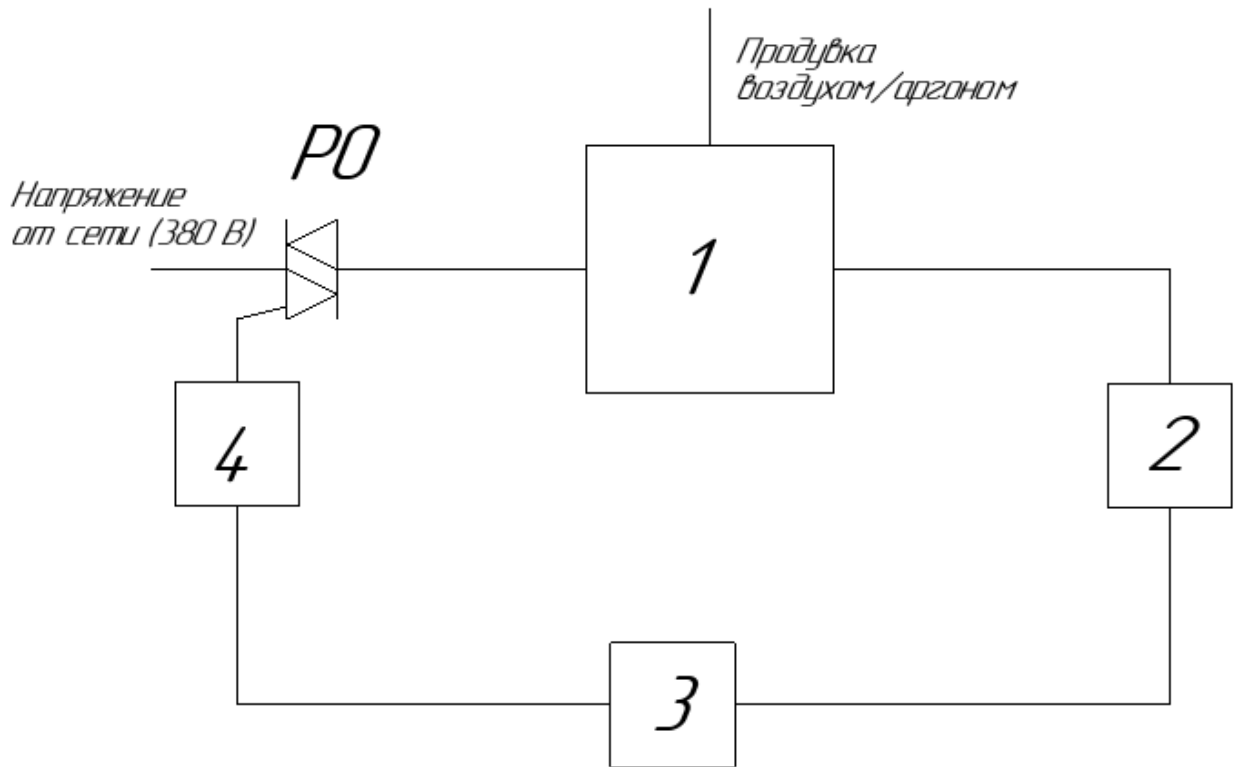


Рисунок 20 – Структурная схема системы регулирования температуры тигля.

1-объект регулирования (температура корундового тигля), 2-датчик температуры, 3-регулятор, 4-исполнительный механизм, PO-регулирующий орган,

Эксперимент проходит с постоянной продувкой смесью газов (воздух/аргон) поэтому регулировать температуру изменением расхода газа не получится. Для регулирования температуры будем изменять температуру нагревательного элемента (PO на рисунке 20). В разрабатываемой системе необходимо регулировать температуру, величина которой задается входным сигналом напряжения U_0 . Измерение температуры θ выполняется с помощью термоэлектрического преобразователя, выходным сигналом которой является ТЭДС, пропорциональная разности температуры в печи и температуры окружающей среды θ . С помощью сумматора напряжения U_T и U_0 сравниваются, в результате чего получается некоторое напряжение $\Delta U = U_0 - U_T$. Сигнал ΔU – это сигнал рассогласования, или же разность между

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

напряжением задания и напряжением обратных связей. После сумматора данная разность ΔU поступает на регулятор. Регулятор задает управляющее воздействие, исполнительный механизм воздействует на РО и изменяет температуру.

7.3 Выбор средств контроля и регулирования

7.3.1 Выбор термоэлектрического преобразователя

Диапазон температур при термической обработке графита составил от комнатной температуры (25 °С) до 1200 °С. Эксперимент проводился в инертной и окислительной среде.

В качестве термоэлектрического преобразователя рассмотрим ТПП-0192 [86]. Класс допуска для этого термоэлектрического преобразователя 2. Диапазон измерений температуры от 0 до 1300 °С. Условное давление до 4 атмосфер.

В качестве альтернативы рассмотрим ТПП2 821 004 [87]. Диапазон температур и класс точности такой же. Единственное отличие — это минимальная длина монтажной части 200 мм для ТПП2 821 004 и 320 для ТПП-0192.

Два термопреобразователя почти идентичны, так как длина монтажной части меньше у ТПП2 821 004 его и выбираем.

7.3.2 Выбор регулятора

Измерители-регуляторы (ТРМ, ИРТ, УКТ, УМКТ, ПКЦ, Метакон и др.) используется в качестве устройств, выполняющих функцию измерения/индикации температуры и других физических величин, преобразованных в унифицированные сигналы силы, напряжения постоянного тока или активное сопротивление постоянному току, а также

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

функцию регулирования и сигнализации при достижении пороговых значений.

Рассмотрим два прибора ТРМ101 и МЕТАКОН-515.

ПИД-регулятор температуры, давления или других физических величин в различных технологических процессах типа ОВЕН ТРМ101 [88] предназначен для точного поддержания заданных параметров. Используется в составе сложного технологического оборудования: экструдеров, термопластавтоматов, печей, упаковочного, полиграфического, вакуум-формовочного оборудования и т. п.

Класс точности регулятора 0,5. ПИД-регулятор температуры, давления и др. выпускается в щитовом корпусе типа Щ5, степень защиты IP54 со стороны передней панели.

МЕТАКОН-515 — ПИД-регулятор температуры и других технологических параметров быстродействующий одноканальный с универсальным аналоговым и двумя дискретными входами, функцией извлечения квадратного корня.

МЕТАКОН-515 поддерживает аналогичные входные сигналы (таблица 25), что и ТРМ101. МЕТАКОН-515 имеет более низкую погрешность, однако его цена выше почти в два раза [89], поэтому выберем ТРМ101.

Таблица 25 – Сравнение диапазонов измерений [88,89]

ТРМ101		МЕТАКОН-515	
Тип датчика или входной сигнал	Диапазон измерения	Тип датчика или входной сигнал	Диапазон измерения
ТХК (L)	-200...+800 °С	ТХА(К)	-100...1300 °С
ТХА (К)	-200...+ 1300 °С	ТХК(L)	-100... 750 °С
ТНН(N)	-200...+ 1300 °С	ТНН(N)	-100...1300°С
ТЖК (J)	-200...+ 1200 °С	ТПП(S)	0...1600 °С
ТМК (Т)	-200...+400 °С	ТПП(R)	0...1600 °С
ТВР (А-1)	0...+2500 °С	ТПР(В)	300...1700 °С
ТВР (А-2)	0...+ 1800 °С	ТВР(А-1)	0...2200 °С
ТВР (А-3)	0...+ 1800 °С	ТЖК(J)	-100... 900 °С
ТПП (R)	0...+ 1750 °С		
ТПП (S)	0...+ 1750 °С		
ТПР (В)	+200...+ 1800 °С		

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Инв. № инв. № Взам. инв. № Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

7.3.3 Выбор исполнительного устройства

В качестве исполнительного устройства применяют блоки управления тиристорами и симисторами.

Первым рассмотрим ОВЕН БУСТ2 [90].

Предназначен для управления симисторами или тиристорами, работающими с активной нагрузкой: нагревательными элементами печей, инфракрасными лампами и др.

БУСТ рекомендуется использовать для регулирования мощности совместно с ПИД-регуляторами ОВЕН ТРМ101, ТРМ10, ТРМ151.

Прибор выпускается в корпусе настенного крепления Н1.

Функциональные возможности

- Автоматическое регулирование мощности активной нагрузки с помощью сигналов управления 0(4)...20 мА, 0...5 мА, 0...10 В, поступающих от регулятора (например, ТРМ101, ТРМ10, ТРМ151);
- ручное регулирование мощности с помощью внешнего переменного резистора 10 кОм;
- два метода управления симисторами или тиристорами, в зависимости от инерционности нагрузки и уровня помех в сети;
- защита силовых тириستоров или симисторов при возникновении аварийных ситуаций: короткого замыкания или превышения номинального тока в нагрузке (с использованием внешних трансформаторов тока);
- плавный выход на заданный уровень мощности для предотвращения резких перегрузок питающей сети;
- светодиодная индикация уровня мощности (10 уровней от 0 до 100 %);
- возможность внешней блокировки управления нагрузкой;
- работа с одно-, двух- и трехфазной нагрузкой

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Блоки БУТ1-6 и БУТ2-6 [91] являются устройствами управления тиристорами и симисторами. Используются в тех случаях, когда необходимо подключить уже установленные в изделие тиристоры к модулю управления, например, терморегулятору.

Широкий диапазон управляющего напряжения и низкий ток потребления по цепи управления делают возможным использование блока также в составе любых других систем управления нагрузкой.

Особенности:

- Подключение мощных тиристоров или симисторов напрямую – не требуется никаких дополнительных внешних элементов;
- встроенная защита от высоковольтных импульсов напряжения, что значительно снижает риск пробоя тиристоров;
- широкий диапазон входных управляющих напряжений;
- выпускается в двух модификациях – в виде печатной платы для монтажа на панель и в корпусе для крепления на DIN-рейку.

Принимает ОВЕН БУСТ2 так как имеет меньшую стоимость [90].

7.4 Разработка схемы автоматизации

Функциональная схема систем автоматизации технологических процессов является основным техническим документом, определяющим структуру и характер систем автоматизации технологических процессов, а также оснащение их приборами и средствами автоматизации (в том числе и средствами вычислительной техники).

Контролируемый технологический параметр объектов автоматизации

- температура корундового тигля.

Процесс проектирования функциональной схемы системы завершается составлением чертежа, который включает в себя:

- технологическую схему объекта автоматизации;

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата
Инд. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

- первичные и другие средства автоматизации;
- щит автоматизации;
- линии связи между техническими средствами автоматизации и
- основную надпись.

Инев. № подп	Подп. и дата	Инев. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен эксперимент по термической обработке реакторного графита. В процессе эксперимента фиксировались такие параметры как изменение массы образца и температура. В результате было установлено, что термическая обработка в атмосфере воздуха является наиболее эффективным способом из рассмотренных. Потеря массы в данном случае составляет до 87% от исходного образца. Это объясняется наличием большего количества окислителя, из-за которого реакторный графит ступает в реакцию более интенсивно. В преобладающей же инертной среде за время эксперимента графит не успевает разложиться полностью или вообще не вступает в реакцию в случае обработки чистым аргоном. Потеря массы в этом случае не превышает 4%.

Также была рассчитана схема дожигания монооксида углерода. Теплоту получаемую при сгорании (0,65 МВт) можно использовать для отопления небольшого населенного пункта и на собственные нужды.

Была рассчитана стоимость научно-исследовательской работы, которая составила 433712 рублей. Основные расходы составляли заработную плату.

Рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности, а также безопасность при чрезвычайных ситуациях в лаборатории.

Подобраны датчики контроля температуры корундового тигля, разработана функциональная схема размещения датчиков.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Audi G. и др. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties // Chinese Phys. C. 2017. Т. 41, № 3. С. 030001.
2. Werrell K.P., Jones V.C. Manhattan: The Army and the Atomic Bomb // J. Am. Hist. 1986. Т. 73, № 2. С. 515.
3. Arnold L. Windscale 1957 // Windscale 1957. London: Palgrave Macmillan UK, 1995.
4. Atomic F., Commission E. Marcoule : G1 , G2 and G3 reactors for plutonium production. 2009. С. 2–3.
5. United States Department of Energy. Plutonium: The First 50 Years. 1996. № February. 82 с.
6. Уран-графитовые реакторы СХК: работы по выводу из эксплуатации продолжаются [Электронный ресурс]. 2012. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2012/06/07/33947> (дата обращения: 24.08.2020).
7. Jensen S.E., Nonbol E. Description of the Magnox Type of Gas Cooled Reactor (MAGNOX) // Nordic Nuclear Safety Research. 1998. Т. 2, № November. 1–83 с.
8. Nonbel E. Description of the Advanced Gas Cooled Type of Gas Cooled Reactor (AGR) // Riso National Laboratory. 1996. № November 1996. 26 с.
9. Simon R. the Primary Circuit of the Dragon High Temperature Reactor Experiment // 18th Int. Conf. Struct. Mech. React. Technol. (SMiRT 18). 2005. № SMiRT 18. С. 1–10.
10. Dietrich G. и др. Decommissioning of the Thorium High Temperature Reactor (THTR 300). № Thtr 300. С. 9–15.
11. Statistics I. State Nuclear Profiles 2010. 2012. № April.
12. International Atomic Energy Agency (IAEA). Operational & Long-Term Shutdown Reactors [Электронный ресурс]. 2016. С. 1–2. URL: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.a>

Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ	Лист
Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата		95
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		

спх.

13. Абрамов А.А. и др. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. ЭНЕРГОПРОМАНАЛИТИКА, 2015.
14. IAEA. Progress in Radioactive Graphite Waste Management // Tecdoc 1647. 2010. № July. С. 20.
15. IAEA. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal // T21026. 2010. Т. ACTIVE.
16. Fachinger J., von Lensa W., Podruhzina T. Decontamination of nuclear graphite // Nucl. Eng. Des. 2008. Т. 238, № 11. С. 3086–3091.
17. Dunzik-Gougar M. Lou, Smith T.E. Removal of carbon-14 from irradiated graphite // J. Nucl. Mater. 2014. Т. 451, № 1–3. С. 328–335.
18. Kearsey H.A., Page R.J. Product evaluation phase 1 report. 1984.
19. IAEA. Characterization, treatment and conditioning of radioactive graphite from decommissioning of nuclear reactors // Tecdoc 1521. 2006. № September.
20. Costes J.R., de Tassigny C., Vidal H. Conditioning of graphite bricks from dismantled gas-cooled reactors for disposal // Waste Manag. 1990. Т. 10, № 4. С. 297–302.
21. Бодров О.В. и др. Обращение с графитом при выводе из эксплуатации реакторов РБМК. Санкт-Петербург, 2019. 34 с.
22. Mason J.B., Bradbury D. Pyrolysis and its potential use in nuclear graphite disposal // Nucl. Energy. 2000. Т. 39, № 5. С. 305–310.
23. Tian L. и др. Disintegration of graphite matrix from the simulative high temperature gas-cooled reactor fuel element by electrochemical method // Electrochim. Acta. 2009. Т. 54, № 28. С. 7313–7317.
24. Павлюк А.О. и др. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОБЛУЧЕННОГО ГРАФИТА УРАН-ГРАФИТОВЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ // Izv. Tomsk. Politekh. Univ. Inziniring Georesursov. 2018. Т. 329, № 12. С. 30–38.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

25. Liu J. и др. Study on the Recycling of Nuclear Graphite after Micro-Oxidation // Nucl. Eng. Technol. 2016. Т. 48, № 1. С. 182–188.
26. Von Lensa W. и др. Treatment and Disposal of irradiated Graphite and other Carbonaceous Waste // ATW - Int. Zeitschrift fur Kernenergie. 2011. Т. 56, № 4–5. С. 263–269.
27. SMITH T.E., MCCRORY S., DUNZIK-GOUGAR M. LOU. LIMITED OXIDATION OF IRRADIATED GRAPHITE WASTE TO REMOVE SURFACE CARBON-14 // Nucl. Eng. Technol. 2013. Т. 45, № 2. С. 211–218.
28. Podruchina T. Graphite as radioactive waste corrosion behaviour under final repository conditions and thermal treatment. // FZJ Report. 2004.
29. Snead L., Burchell T. Oxidation of high-quality graphite for IFE // Proceedings of the DOE/NE High Average Power Laser Program Workshop, Pleasanton, CA. 2002. С. 25–26.
30. Wen K.Y., Marrow T.J., Marsden B.J. The microstructure of nuclear graphite binders // Carbon N. Y. 2008. Т. 46, № 1. С. 62–71.
31. El-Genk M.S., Tournier J.-M.P. Development and validation of a model for the chemical kinetics of graphite oxidation // J. Nucl. Mater. 2011. Т. 411, № 1–3. С. 193–207.
32. Barbin N.M. и др. Thermodynamic Analysis of the Oxidation of Radioactive Graphite in a Multicomponent Melt in an Inert Atmosphere // Russ. Metall. 2018.
33. Барбин Н.М. и др. Термодинамический Анализ Окисления Радиоактивного Графита В Расплаве $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$ В Атмосфере Аргона, «Расплавы» // Расплавы. 2018. № 3. С. 261–270.
34. Беспала Е.В. и др. Термообработка Облученного Графита В Окислительной Среде // Химия Твердого Топлива. 2018. № 5. С. 54–62.
35. Vulpius D. и др. Thermal treatment of neutron-irradiated nuclear graphite //

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

- Nucl. Eng. Des. 2013. Т. 265. С. 294–309.
36. Payne L., Heard P.J., Scott T.B. A Study of the Oxidation Behaviour of Pile Grade A (PGA) Nuclear Graphite Using Thermogravimetric Analysis (TGA), Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Tomography (XRT) // PLoS One / под ред. Mukherjee A. 2015. Т. 10, № 11. С. e0143041.
 37. Payne L., Heard P.J., Scott T.B. Examination of Surface Deposits on Oldbury Reactor Core Graphite to Determine the Concentration and Distribution of ¹⁴C // PLoS One / под ред. Merk B. 2016. Т. 11, № 10. С. e0164159.
 38. LaBrier D., Dunzik-Gougar M. Lou. Identification and location of ¹⁴C-bearing species in thermally treated neutron irradiated graphites NBG-18 and NBG-25: Pre- and post-thermal treatment // J. Nucl. Mater. 2015. Т. 460. С. 174–183.
 39. Shavaleev M.R. и др. Reactor graphite processing in low-temperature gas-discharge plasma // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Т. 1370. С. 012028.
 40. Le Guillou M. и др. Deuterium migration in nuclear graphite: Consequences for the behavior of tritium in CO₂-cooled reactors and for the decontamination of irradiated graphite waste // J. Nucl. Mater. 2015. Т. 461. С. 72–77.
 41. Swift B.T. и др. Carbon-14 Project Phase 2: Irradiated Graphite Wastes. AMEC Report AMEC/200047/004, 2016. № 2. 127 с.
 42. Nelson K.J. Optimization of the thermal treatment process for the removal of C-14 from irradiated graphite for waste volume reduction and bulk graphite recycle. Idaho state university, 2014.
 43. Von Lensa W. и др. Treatment and Disposal of irradiated Graphite and other Carbonaceous Waste // ATW - Int. Zeitschrift fur Kernenergie. 2011. Т. 56, № 4–5. С. 263–269.
 44. Choi W.-К. и др. Oxidation behavior of IG and NBG nuclear graphites // Nucl. Eng. Des. 2011. Т. 241, № 1. С. 82–87.
 45. Kelly B.T. Irradiation damage in graphite due to fast neutrons in fission and fusion systems // IAEA-Tecdoc. 2000.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ

46. Loren Fuller E., Okoh J.M. Kinetics and mechanisms of the reaction of air with nuclear grade graphites: IG-110 // J. Nucl. Mater. 1997. Т. 240, № 3. С. 241–250.
47. Luo X., Yu X., Yu S. Oxidation performance of graphite material in reactors // Front. Energy Power Eng. China. 2008. Т. 2, № 4. С. 471–474.
48. Lim Y.-S., Chi S.-H., Cho K.-Y. Change of properties after oxidation of IG-11 graphite by air and CO₂ gas // J. Nucl. Mater. 2008. Т. 374, № 1–2. С. 123–128.
49. Lee J.J., Ghosh T.K., Loyalka S.K. Oxidation rate of nuclear-grade graphite NBG-18 in the kinetic regime for VHTR air ingress accident scenarios // J. Nucl. Mater. 2013. Т. 438, № 1–3. С. 77–87.
50. Propp W.A. Graphite Oxidation Thermodynamics/Reactions // Other Inf. PBD 1 Sep 1998. 1998. С. Medium: P; Size: 35 pages.
51. Pageot J. и др. 14C selective extraction from French graphite nuclear waste by CO₂ gasification // Prog. Nucl. Energy. Elsevier, 2018. Т. 105, № February 2017. С. 279–286.
52. Podruzhina T. Graphite as radioactive waste corrosion behaviour under final repository conditions and thermal treatment. // FZJ Rep. . 2004.
53. Karlina O.K., Tuktarov M.A., Kasheev V.A. Methods of Irradiated Graphite Treatment – Characteristic Properties of Irradiated Graphite. International Atomic Energy Agency (IAEA), 2016. 22 с.
54. Гаврилов В.В., Безносюк В.И., Галкин Б.Я. СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДА-14 ИЗ ОБЛУЧЕННОГО НЕЙТРОНАМИ ГРАФИТА. 2003.
55. Marnet C., Wimmers M., Birkhold U. Decommissioning of the AVR reactor, concept for the total dismantling. International Atomic Energy Agency (IAEA), 1998. 17–39 с.
56. Marnet C., Ivens G., Ziermann E. The AVR power plant in its last year of operation // Energy. 1991. Т. 16, № 1–2. С. 71–77.
57. Fischer P.G. и др. Zum verhalten von tritium in reaktorgraphiten // J. Nucl.

Инд. № подл.
Подп. и дата
Инд. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инд. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- Mater. Elsevier, 1977. Т. 64, № 3. С. 281–288.
58. Ramos G., Scherzer B.M.U. Radiation damage, trapping and release of deuterium in diamond and HOPG-graphite // Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms. 2001. Т. 174, № 3. С. 329–336.
59. Yamagishi H. и др. Measurement of neutron flux in the AVR. Germany, 1991. 45 с.
60. Gmelin L. Handbuch der anorganischen chemie. Verlag Chemie. Weinheim, 1966.
61. Bolgova D. и др. Influence of Cu(CH₃COO)₂ promoting additive on bituminous coal oxidation process // МАТЕС Web Conf. / под ред. Kuznetsov G.V., Bulba E., Feoktistov D. 2018. Т. 194. С. 01034.
62. Алесковский В.Б. Физико-химические методы анализа. Рипол Классик, 2013.
63. Korotkikh A.G. и др. Comparison of coal reactivity during conversion into different oxidizing medium // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 754, № 5. С. 52001–52005.
64. Rustamov V.R., Abdullayev K.M., Samedov E.A. Biomass conversion to liquid fuel by two-stage thermochemical cycle // Energy Convers. Manag. Elsevier, 1998. Т. 39, № 9. С. 869–875.
65. Hedden K., Wilhelm A. Catalytic effects of inorganic substances on reactivity and ignition temperatures of solid fuels // Ger. Chem. Eng.(Engl. Transl.);(Germany, Fed. Repub. of). 1980. Т. 3, № 2.
66. Guo Q. и др. Performance of Ca-based oxygen carriers decorated by K₂CO₃ or Fe₂O₃ for coal chemical looping combustion // Energy & fuels. ACS Publications, 2014. Т. 28, № 11. С. 7053–7060.
67. Yin K. и др. Thermogravimetric analysis of the catalytic effect of metallic compounds on the combustion behaviors of coals // React. Kinet. Mech. Catal. Springer, 2012. Т. 106, № 2. С. 369–377.

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

68. He X.-M. и др. Catalytic combustion of inferior coal in the cement industry by thermogravimetric analysis // Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff. Taylor & Francis, 2013. Т. 35, № 13. С. 1233–1240.
69. Kim Y.-K. и др. Catalytic activity and activation mechanism of potassium carbonate supported on perovskite oxide for coal char combustion // Fuel. Elsevier, 2012. Т. 94. С. 516–522.
70. Senneca O. и др. Relevance of structure, fragmentation and reactivity of coal to combustion and oxy-combustion // Fuel. Elsevier, 2017. Т. 201. С. 65–80.
71. Larionov K.B., Gromov A.A. Non-isothermal oxidation of coal with Ce(NO₃)₃ and Cu(NO₃)₂ additives // Int. J. Coal Sci. Technol. 2019. Т. 6, № 1. С. 37–50.
72. Chen L., Li L., Li G. Synthesis of CuO nanorods and their catalytic activity in the thermal decomposition of ammonium perchlorate // J. Alloys Compd. 2008. Т. 464, № 1–2. С. 532–536.
73. СЗ Р.Ф. « Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 N 197-ФЗ. 2001. № 1.
74. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
75. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
76. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
77. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
78. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
79. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия (с Поправкой).

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

80. Ростехнадзора П. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. 2013. № 550.
81. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
82. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
83. ГОСТ Р 53325-2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, 3).
84. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
85. ГОСТ Р 51017-2009 Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Поправкой).
86. «Платиновые» термопары с керамическими или корундовыми чехлами. [Электронный ресурс]. URL: http://tpchel.ru/TPP_TPR-0192 (дата обращения: 01.12.2020).
87. Термоэлектрические преобразователи ТПП 2 821 004 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technoac.ru/product/item/tp-2-821-004> (дата обращения: 01.12.2020).
88. ТРМ101 ПИД-регулятор с универсальным входом в корпусе 48×48 мм [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/product/trm101> (дата обращения: 01.12.2020).
89. Метакон 515 [Электронный ресурс]. URL: <http://metakon.su/productions/metakon-515/> (дата обращения: 01.12.2020).
90. БУСТ2 блок управления тиристорами и симисторами [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/product/bust2> (дата обращения: 01.12.2020).
91. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРАМИ [Электронный ресурс]. URL:

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

http://petropribor.ru/documents/BUT1_2-6_031006.pdf (дата обращения: 01.12.2020).

92. Ключников А.А. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. ИПБ АЭС НАН Украины, 2005.
93. Назаренко О.Б. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ // Томск Изд. ТПУ. 2008.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Подп. и дата	Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ	Лист
													103

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Экспериментальные данные

t, °C Образец	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
G1/100	99.74	99.58	99.35	99.07	98.31	97.16	91.87	73.55	44.03	17.12	14.07	12.93
G2/100	99.84	99.61	99.41	98.76	98.02	95.86	88.19	64.45	31.02	18.81	18.52	17.91
G1/75	99.88	99.82	99.17	97.27	96.23	95.40	91.72	75.08	43.97	15.36	14.18	14.14
G2/75	99.91	99.80	99.26	99.04	98.58	97.36	91.93	68.95	38.60	17.69	17.84	18.01
G1/50	99.92	99.76	99.02	97.26	96.30	95.44	92.18	79.38	57.82	34.67	13.25	12.36
G2/50	99.83	99.62	98.13	96.49	95.57	94.21	88.75	71.25	49.61	27.51	15.43	15.11
G1/25	99.89	99.79	99.22	98.06	97.17	96.42	94.14	86.39	75.45	63.76	51.29	37.07
G2/25	99.85	99.65	98.49	97.13	96.27	95.04	90.26	80.13	68.55	56.40	43.21	29.53
G1/0	99.98	99.93	99.95	98.70	98.22	97.78	97.42	97.26	97.26	97.01	96.38	95.50
G2/0	99.95	99.98	99.32	98.57	98.16	97.80	97.52	97.36	97.29	97.13	96.61	95.90

ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ

Дат

Подп.

№ докум.

Изм.

Ли

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл

Приложение Б

(обязательное)

Расчет схемы дожигания монооксида углерода

В процессе разложения реакторного графита образуется синтез газ. В состав которого входил монооксид углерода, который необходимо дожигать. Энергию от сжигания можно использовать для отопления небольших поселков либо на собственные нужды.

При газификации графита образуется порядка 2,3 кг газа монооксида углерода. Газ выходит с температурой 900 °С, поэтому его необходимо охлаждать. Газ продувается при атмосферном давлении.

Произведем расчет по схеме, представленной на рисунке Б.1. Аналогичная установка представленная в [92, с. 279] может утилизировать до 100 кг/ч, зададимся этим же значением.

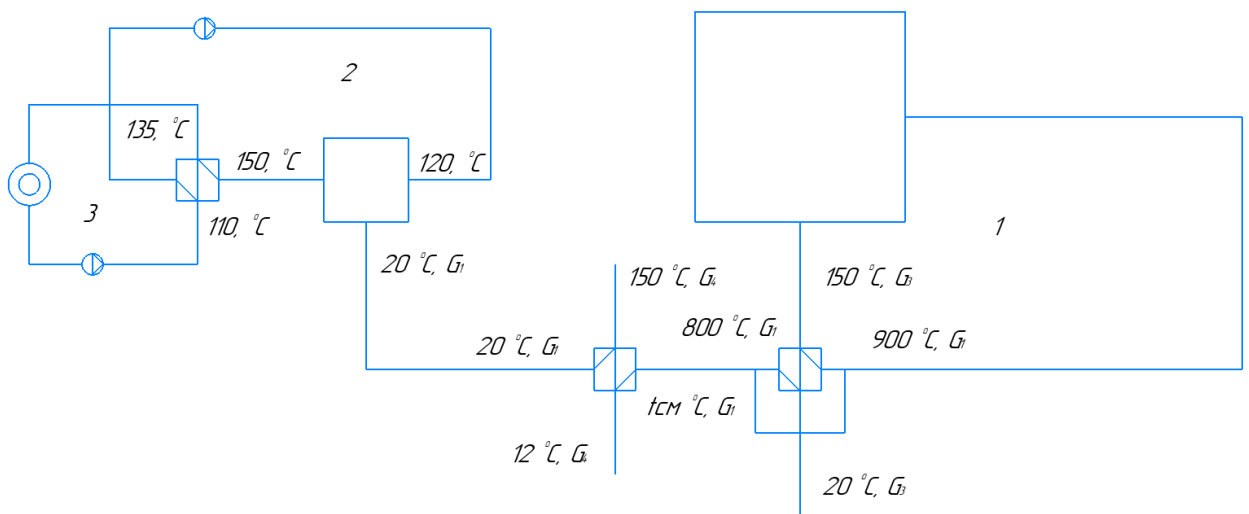


Рисунок Б.1 – Схема дожигания СО. 1 контур – регенеративный подогрев воздуха и воды на собственные нужды, 2 промежуточный контур подогрева сетевой воды, 3 контур сетевой воды

Тепловой и материальный баланс регенеративного теплообменника СО-воздух:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$(h_{900}-h_{800}) \cdot G_2 = (h_{150}-h_{20}) \cdot G_3 \eta \quad (\text{Б.1})$$

где, $h_{900} = f(t, p) = 1425 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$

$$h_{800} = f(t, p) = 1304 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{150} = f(t, p) = 551 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{20} = f(t, p) = 419 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$G_1 = 100 \cdot 2,3 = 230 \frac{\text{кг}}{\text{ч}};$$

$$G_3 = 100 \cdot 0,35 = 35 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Из уравнения Б.1 найдем расход газа G_2 необходимого для нагрева воздуха до температуры 150 °С:

$$G_2 = \frac{(h_{150}-h_{20})}{(h_{900}-h_{800})} \cdot G_3 \eta = \frac{(551-419)}{(1425-1304)} \cdot 35 \cdot 0,98 = 37 \text{ кг/ч} \quad (\text{Б.2})$$

$\eta = 0,98$ —потери в теплообменнике в окружающую среду.

Найдем параметры точки смешения:

$$\begin{aligned} h_{\text{см}} &= \frac{G_2}{G_1} \cdot h_{800} + \frac{G_1-G_2}{G_1} \cdot h_{900} = \frac{37}{230} \cdot 1425 + \frac{230-37}{230} \cdot 1304 = \\ &= 1405 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \end{aligned} \quad (\text{Б.3})$$

Далее рассчитаем подогрев воды на собственные нужды.

$$(h_{\text{см}}-h_{20}) \cdot G_1 = (h_{150}^w-h_{12}) \cdot G_4 \eta \quad (\text{Б.4})$$

Примем давление воды на собственные нужды 1,5 МПа. Определим неизвестные энтальпии по таблицам:

$$h_{20} = f(t, p) = 437 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{12} = f(t, p) = 51 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{150}^w = f(t, p) = 632 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Найдем расход воды необходимый для охлаждения газа:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$G_4 = \frac{(h_{cm} - h_{20})}{(h_{150}^w - h_{12}) \cdot \eta} \cdot G_1 = \frac{(1405 - 437)}{(632 - 51) \cdot 0,98} \cdot 230 = 391 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (\text{Б.5})$$

Затем в камере дожигания происходит сжигание СО для подогрева воды в промежуточном контуре. Теплотворная способность при сжигании СО равна 11,78 МДж/м³. Зная давление, найдем плотность газа при атмосферном давлении и температуре 20 °С $\rho_{20} = 1.15 \text{ кг/м}^3$. Получаем 200 м³ при сжигании 100 кг графита в час. Найдем количество как $Q = Q_H \cdot V = 11.78 \cdot 200 = 2355,5 \frac{\text{МДж}}{\text{ч}} = 0,65 \text{ МВт}$. Полученную теплоту будем использовать в качестве подогрева сетевой воды, однако так как в газе содержатся радиоактивные примеси введем промежуточный контур.

Рассчитаем расход воды в промежуточном контуре:

$$(h_{п.к.150} - h_{п.к.120}) \cdot G_{п.к.} \cdot \eta = Q \quad (\text{Б.6})$$

$$h_{п.к.150} = f(t, p) = 632 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{п.к.120} = f(t, p) = 504 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$G_{п.к.} = \frac{Q}{(h_{п.к.150} - h_{п.к.120}) \cdot \eta} = \frac{2355,5 \cdot 1000}{(632 - 504) \cdot 0,92} = 16920 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (\text{Б.7})$$

Далее найдем расход сетевой воды:

$$(h_{с.в.135} - h_{с.в.110}) \cdot G_{с.в.} \cdot \eta = (h_{п.к.150} - h_{п.к.120}) \cdot G_{п.к.} \quad (\text{Б.8})$$

$$h_{с.в.135} = f(t, p) = 568 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$h_{с.в.110} = f(t, p) = 462 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$G_{с.в.} = \frac{(h_{п.к.150} - h_{п.к.120})}{(h_{с.в.135} - h_{с.в.110}) \cdot \eta} \cdot G_{п.к.} = \frac{(632 - 504)}{(568 - 462) \cdot 0,98} \cdot 16920 = 20837 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (\text{Б.9})$$

Приложение В

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Лист
ФЮРА.XXXXXXX.001 ПЗ						

(обязательное)

Расчет освещенности лабораторного помещения

$H = 4,5 \text{ м}$ – высота помещения;

$h_n = H - 0,5 = 4 \text{ м}$ – высота подвеса

$h_p = 0,8 \text{ м}$ – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ м}$ – расчетная высота светильника над рабочей

поверхностью;

$l = 1230 \text{ мм}$ – длина светильника (принимаем ОД-2-40);

$\lambda = 1,4$ – коэффициент. Принимается по [93] для светильника типа ОД;

$A = 16 \text{ м}$ – длина помещения;

$B = 16 \text{ м}$ – ширина помещения.

На рисунке В.1 изображены необходимые геометрические параметры установки светильника в помещении.

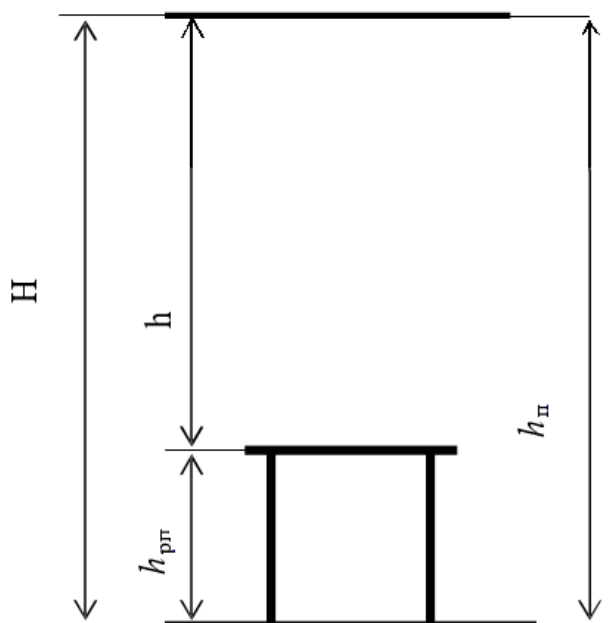


Рисунок В.1 – Основные расчетные параметры

$$\lambda = L / h \Rightarrow L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,2 = 4,5 \text{ м}; \frac{L}{3} = 1,5 \text{ м} \quad (\text{В.1})$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Размещаем светильники в четыре ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 45 см.

Находим индекс помещения

$$i = \frac{S}{[h \cdot (A + B)]} = \frac{256,0}{[3,2 \cdot (16 + 16)]} = 2,5 \quad (\text{B.2})$$

По таблице 11 [92] определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 61\%$.

Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{[N \cdot \eta]} = \frac{200 \cdot 256 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{[64 \cdot 0,61]} = 2164 \text{ лм}, \quad (\text{B.3})$$

Такой световой поток может выдавать лампа ЛД-40 со световым потоком равным 2300 лм.

Отклонение светового потока составляет:

$$F = \frac{|\Phi_{\text{ЛД-40}} - \Phi|}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{|2300 - 2164|}{2300} \cdot 100\% = 5,9\% \quad (\text{B.4})$$

Это удовлетворяет диапазону $-10 \div +20\%$. Следовательно, число светильников и высота их подвески выбраны верно.

Электрическая мощность установки:

$$P = 40 \cdot 64 = 2560 \text{ Вт}. \quad (\text{B.5})$$

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

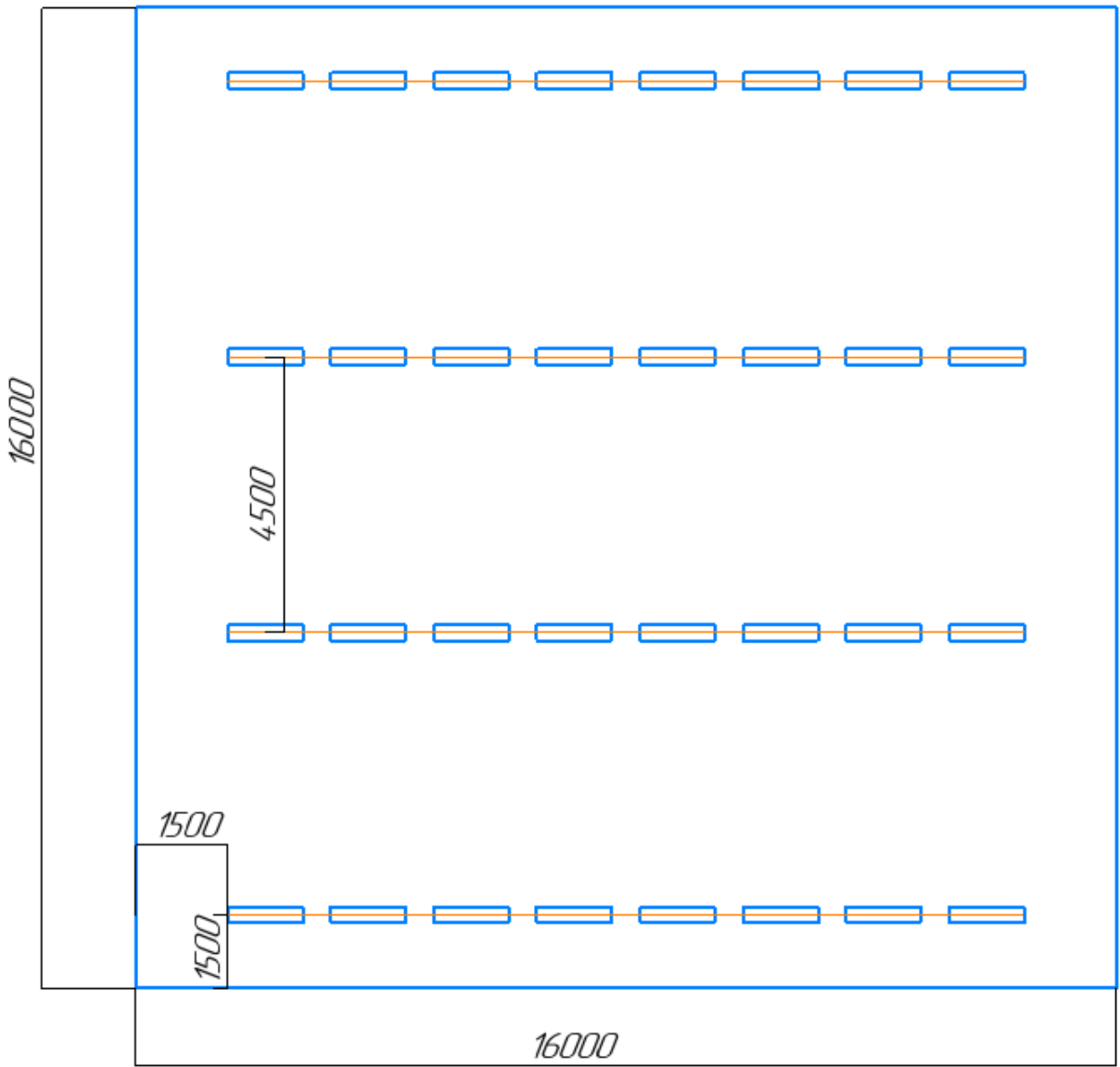


Рисунок В.2 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Инев. № подп	Подп. и дата	Инев. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

ФЮРА.ХХХХХХ.001 ПЗ