



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<i>Электродуговой синтез порошков на основе карбида вольфрама из отходов горно-обогатительного производства</i>

УДК 621.762:661.878*062.1:622.7.017

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кокорина Александра Ивановна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Пак А. Я.	д.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О. А.	к.б.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением

	информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
_____ Склярова Е.А.
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Кокорина Александра Ивановна

Тема работы:

<i>Электродуговой синтез порошков на основе карбида вольфрама из отходов горно-обогатительного производства</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования: электродуговой синтез карбида вольфрама из вольфрамового рудного концентрата в открытой воздушной среде. Требования к продукту: карбид вольфрама обладает наибольшей массовой долей по сравнению с остальными фазами в продукте синтеза.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> — Обзор литературных источников; — Материалы и методы исследования; — Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от соотношения масс исходных реагентов; — Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от времени синтеза; — Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от силы тока разрядного контура; — Финансовый менеджмент; — Социальная ответственность; — Заключение.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Былкова Т. В., к.э.н., доцент ОСГН
Социальная ответственность	Антоневич О. А., к.б.н., доцент ООД
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭЭ	Пак А. Я.	д.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кокорина Александра Ивановна		

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0Б91	Кокорина Александра Ивановна

Тема работы:

<i>Электродуговой синтез порошков на основе карбида вольфрама из отходов горно-обогащительного производства</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.09.2022	Аналитический обзор литературы	20
15.10.2022	Материалы и методы исследования	15
01.03.2023	Определение параметров синтеза, обеспечивающих наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте синтеза	40
15.05.2023	Социальная ответственность	10
24.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
30.05.2023	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭЭ	Пак А. Я.	д.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кокорина Александра Ивановна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 72 с., 10 рис., 24 табл., 60 источников, 1 прил.

Ключевые слова: электродуговой синтез, карбид вольфрама, вольфрамовый рудный концентрат, открытая воздушная среда, плазма

Объектом исследования (разработки) является электродуговой синтез карбида вольфрама из вольфрамового рудного концентрата в открытой воздушной среде

Цель работы – определение соотношения масс прекурсоров и наименьших времени синтеза и тока разрядного контура, которые обеспечивают наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте электродугового синтеза из руды в открытой воздушной среде.

В ходе работы проводились исследования фазового состава продуктов синтеза методом рентгенофазового анализа, расчет массовой доли фаз в продукте синтеза методом корундовых чисел.

В результате исследований параметров электродугового синтеза карбида вольфрама из руды в открытой воздушной среде, которые обеспечивают наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте синтеза.

Область применения: продукт синтеза может быть применен в качестве носителя катализатора в реакциях получения водорода

Экономическая эффективность/значимость работы: электродуговой реактор является экономически выгоднее, относительно прямых аналогов, так как в процессе синтеза не используется вакуумное оборудование и защитные инертные газы.

В будущем планируется апробация полученных порошков в качестве носителей катализатора в реакциях получения водорода.

Содержание

Введение.....	10
1 Литературный обзор	12
1.1 Физические свойства карбида вольфрама и их применение	12
1.2 Химические свойства карбида вольфрама и его применение в катализе .	13
1.3 Методы получения карбида вольфрама.....	14
2 Материалы и методы	18
2.1 Подготовка исходного сырья и электроды.....	18
2.2 Устройство и принцип работы электродугового реактора.....	20
2.3 Основные методы исследования продуктов синтеза	22
3 Определение параметров синтеза, обеспечивающих наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте синтеза	24
3.1 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от соотношения масс исходных реагентов.....	24
3.2 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от времени синтеза	27
3.3 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от силы тока разрядного контура.....	28
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	32
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	32
4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	35
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	35
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, эффективности исследования	45
5 Социальная ответственность	49
5.1 Введение.....	49
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	49
5.2.1 Правовые норма трудового законодательства	49

5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	50
5.2.3 Методические рекомендации при работе в аналитических лабораториях	51
5.3 Производственная безопасность.....	52
5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	52
5.3.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	53
5.3.3 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.....	54
5.3.4 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	55
5.3.5 Повышенный уровень шума	56
5.3.6 Повышенная яркость света	57
5.3.7 Перенапряжение зрительных анализаторов.....	57
5.3.8 Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания.....	58
5.4 Экологическая безопасность.....	58
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	60
5.5.1 Анализ возможных ЧС	60
5.5.2 Наиболее вероятная ЧС	60
5.6 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	61
Заключение	62
Список публикаций.....	63
Список использованных источников	64
Приложение А	72

Введение

Карбид вольфрама WC – это перспективный материал, который в основном применяется в сферах обрабатывающей промышленности, в качестве покрытия и абразивного материала [4]. Помимо вышеперечисленного, карбид вольфрама является перспективным носителем катализатора в реакциях получения водорода [12].

Потребление вольфрама растет с ростом экономики и развитием технологий. На данный момент актуальна проблема развития методов получения карбида вольфрама. На основе более ранних работ было установлено, что возможно получать карбиды металлов электродуговым методом в открытой воздушной среде, что обусловлено интенсивным выделением угарного и углекислого газов в процессе синтеза. Возникает эффект самоэкранирования реакционного объема от кислорода воздуха, что обеспечивает отсутствие оксидных фаз в процессе синтеза.

Отдельно стоит выделить проблему совершенствования традиционных методов получения карбида вольфрама из руды в силу его многостадийности [28]. В данной работе в качестве альтернативы традиционному методу представлена перспективная модификация электродугового метода, главная особенность которой заключается в отсутствии необходимости организации вакуума или защитной газовой среды в процессе синтеза. Работа посвящена модернизации метода электродугового синтеза карбида вольфрама, заключающейся в использовании в качестве исходного сырья низкосортных вольфрамовых рудных концентратов. В работе ведется поиск зависимостей фазового состава продуктов синтеза от рабочих параметров плазменного реактора, морфологических особенностей частиц; ведется поиск требуемого состава шихты и параметров плазменной обработки для обеспечения доминирования искомым фаз карбида вольфрама. Актуальность работы заключается в минимизации числа операций, необходимых для переработки

рудного концентрата с получением карбида вольфрама, и вовлечения в процесс синтеза отходов горно-обогажительного производства.

Целью данной работы является определение соотношения масс прекурсоров и наименьших времени синтеза и тока разрядного контура, которые обеспечивают наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте электродугового синтеза из руды в открытой воздушной среде.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- провести предварительную подготовку вольфрамового рудного концентрата: помол, сепарация;
- исследовать зависимость фазового состава продукта синтеза от соотношения масс прекурсоров (вольфрамового концентрата руды и углерода) при времени синтеза 45 с и токе разрядного контура 220 А методом рентгенофазового анализа;
- исследовать зависимость фазового состава продукта синтеза от времени синтеза при определенном ранее соотношении масс прекурсоров и токе разрядного контура 220 А методом рентгенофазового анализа;
- исследовать зависимость фазового состава продукта синтеза от тока разрядного контура при определенном ранее соотношении масс прекурсоров и времени синтеза 45 с методом рентгенофазового анализа.

1 Литературный обзор

1.1 Физические свойства карбида вольфрама и их применение

Фазовая диаграмма “вольфрам - углерод” содержит три различных карбида вольфрама: стехиометрический карбид вольфрама WC, имеющий гексагональную структуру – это единственная стабильная фаза при комнатной температуре, плавится неконгруэнтно, кубический карбид вольфрама WC_{1-x}, где $0,34 \leq x \leq 0,43$ и гексагональный карбид W₂C [1]. Обе фазы WC_{1-x} и W₂C стабильны в интервале температур от 1250 °C до 2500 °C, а также могут образоваться в результате быстрого охлаждения WC [2].

Карбид вольфрама WC – это широко применяемый материал. Он обладает такими перспективными физическими и механическими свойствами, как высокая температура плавления (~ 3050 K), высокая твердость (18 – 22 ГПа при 300 K/2200 HV) и износостойкость, высокий модуль Юнга (~550-700 ГПа), низкий коэффициент трения, высокая теплопроводность (~84 Вт/(м·K)) и электропроводность, а также он не размягчается при высоких температурах [3-5].

Карбид вольфрама является многообещающим и широко применяемым материалом в сфере повышения износостойкости подвижных компонентов, а также защиты от коррозии и высокотемпературного окисления [4]. Наиболее широко WC применяется в качестве защитных покрытий для режущих инструментов [4-8], однако на данный момент актуальна проблема адгезии покрытия на основе карбида вольфрама к подложкам, так как в них в процессе осаждения возникают высокие остаточные напряжения [5]. Распространено и применение WC в качестве абразива [7]. Также данный материал перспективен в областях электроники в качестве диффузионно-барьерного слоя в микроэлектронных устройствах, предназначенных для работы при повышенной температуре и в агрессивных средах [9-10].

1.2 Химические свойства карбида вольфрама и его применение в катализе

В ранних исследованиях было установлено, что карбиды переходных металлов, таких как W или Mo, могут обладать каталитическими свойствами, характерными для благородных металлов вроде Pt и Pd [11]. Установлено, что карбид вольфрама обладает гораздо большей каталитической активностью, чем вольфрам, что связано с изменением распределения электронов в ионе вольфрама в соединении с углеродом [12]. Карбид вольфрама обладает необходимыми для катализа свойствами: относительно высокая каталитическая активность, стабильность в жестких условиях, сопротивление коррозии [13]. Так WC является перспективным катализатором в электролизе воды, причем данная реакция – это один из самых экологичных методов получения водорода (4% в мировом производстве водорода) [14]. В работе [15] пиролизом были получены наночастицы карбида вольфрама со средним размером 5 нм, каталитические свойства полученного порошка характеризовались наклоном Тафеля 49 мВ/дек и очень низким перенапряжением $\eta_{10} = 51$ мВ. В сравнении для платины наклон Тафеля составляет 30,3 мВ/дек [16]. На практике WC не используют в качестве катализатора в реакциях получения водорода из-за высоких значений перенапряжения, что приводит к повышенным затратам на электроэнергию, однако он может применяться в качестве носителя катализатора [17]. Существует необходимость в не углеродном носителе катализатора, так как углерод окисляется и изолирует частицы платины [18]. Установлено, что смесь Pt-WC/C, содержащая 50 вес. % карбида вольфрама, более эффективна в качестве катализатора, чем Pt/C, даже если в первом случае платины содержится в два раза меньше, чем во втором [19]. Таким образом, применение WC в качестве носителя катализатора повышает его активность, снижает энергозатраты и стоимость в силу частичной замены платины Pt на более дешевый карбид вольфрама [20-21].

1.3 Методы получения карбида вольфрама

Существует множество методов получения карбида вольфрама:

– *Химическое осаждение из паровой фазы:*

Является основным методом изготовления чистых однородных пленок с хорошей адгезией. В работе [22] получили покрытие из WC в открытой воздушной среде. Жидкий раствор, содержащий исходные материалы, распыляли с помощью ультразвукового генератора. Частицы образовывали “туман”, который переносился газом (смесью Ar и H₂) на нагретую подложку. Температура составляла 550 – 850 °C. Исходный раствор получали растворением WCl₆ в ацетонитриле CH₃CN.

– *Искровое плазменное спекание:*

Высокотемпературный и быстрый метод получения покрытия. В данном методе на образец одновременно воздействуют током и давлением. Y. Jiang et al получили покрытие из карбида вольфрама методом искрового плазменного спекания [23]. Порошок вольфрама в течение 4 ч измельчали в этаноле, а затем высушивали в вакуумной печи для испарения этанола. Чтобы исключить возможность появления продуктов окисления, порошок восстанавливали водородом при температуре 780 °C в течение 1,5 ч. Далее порошок подвергали микроволновому спеканию в восстановительной атмосфере (5 % H₂ и 95 % Ar) при температуре 1500 °C в течение 30 мин, в результате чего получили вольфрамовую подложку. Полученную подложку полировали и ополаскивали в этаноле для получения чистой и гладкой поверхности. Затем подложку поместили в графитовую матрицу и покрыли графитовым порошком. Графитовые листы отделяли порошок от матрицы и пуансона. Спекание проводили в атмосфере аргона при скорости нагрева и охлаждения 100 °C/мин, давлении 20 Мпа, температуре 1600 °C в течение 10 мин.

– ***Карботермическое восстановление триоксида вольфрама WO₃:***

Данный метод отличается хорошей воспроизводимостью, низкой стоимостью и простотой реализации. В работе [24] триоксид вольфрама WO₃ смешивали с угольной сажой в ступке в течение 20 мин. 10 г порошка помещали в алюминиевую емкость, которая была помещена в печь. Образец нагревали со скоростью 5 °С/мин и выдерживали в течение 1 ч при температуре 1400 – 1600 °С в потоке аргона. Затем образец охлаждали со скоростью -10 °С/мин.

– ***Высокоэнергетическое перемалывание в шаровых мельницах:***

Высокоэнергетическое перемалывание в шаровых мельницах – это простой и эффективный способ получения наноструктурированного мелкодисперсного порошка. В работе F. L. Zhang et al [25] получили порошок WC из твердосплава WC-Co в результате перемалывания в течение 10 часов со скоростью вращения 250 об/мин.

– ***Обработка поверхности высокоинтенсивными ионными пучками:***

Воздействие ионными пучками вызывает изменения фазового состава, измельчение зерен и образование областей с повышенной плотностью дефектов. В работе [26] данным методом получили карбид вольфрама. Образец вольфрама отполировали. Воздействие ионным пучком осуществлялось при ускоряющем напряжении 220 кВ. Остаточное давление в камере составило 10⁻² Па в результате откачки диффузионным насосом. Плотность ионного тока изменяли 20 – 100 А/см². Ионный пучок состоял из 70 – 80% ионов углерода и на 20 – 30% из ионов водорода.

– ***Электрический взрыв:***

Универсальный и экологичный метод получения однородных порошков металлов, сплавов и керамики. A.V. Pervikov et al [27] получили порошок вольфрама электрическим взрывом. Ацетоновую суспензию на основе полученного порошка вольфрама и сажи помещали в стеклянный стакан и обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 30 мин для приготовления

углерод-вольфрамовой смеси. Затем полученную смесь прокаливали в вакуумной печи при давлении 10^{-3} Па и температуре 800 – 1200 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин и времени 3 – 8 ч.

Все вышеперечисленные методы реализуют с использованием чистого вольфрама или его оксида, которые уже были получены из вольфрамовой руды. Настоящие методы получения карбида вольфрама из руды несовершенны в силу многостадийности (рисунок А.1), большого количества затрачиваемых ресурсов и отходов [28]. Основными минералами для производства вольфрама являются шеелит CaWO_4 и вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$. Традиционный метод получения WC из руды включает в себя измельчение до нужного гранулометрического состава, флотацию для шеелита и магнитную или гравитационную сепарацию для гюбнерита и получение оксида вольфрама WO_3 [29]. Далее оксид вольфрама восстанавливают до чистого вольфрама и затем получают карбид вольфрама из смеси вольфрама и углерода. В последние годы появляются работы, посвященные получению WC из руды на одной из начальных стадий с последующим выделением данной фазы, например, карботермическое восстановление в присутствии угля и магния с последующей очисткой продукта синтеза [30]. Также одним из методов переработки руды и синтеза кристаллических фаз карбида вольфрама является электродуговой [31]. Существует перспективная модификация данного метода, характеризующаяся отсутствием вакуума или защитной газовой среды в процессе синтеза [32-33].

Схема данного метода представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема получения карбида вольфрама из руды электродуговым методом

При инициировании дугового разряда между графитовыми электродами происходит интенсивное выделение угарного и углекислого газов, которые экранируют реакционный объем от кислорода воздуха. Данный метод отличается от традиционного электродугового меньшей энергоемкостью, повышенной производительностью и существенно упрощенной схемой дугового реактора [34-35].

2 Материалы и методы

2.1 Подготовка исходного сырья и электроды

В качестве исходного материала использовали вольфрамовый рудный концентрат из хвостов Джидинского вольфрам-молибденового комбината в виде порошка. Согласно данным производителя, данный концентрат содержит вольфрам до 42,0 масс. %, железо до 16,2 масс. %, марганец до 8,8 масс. %, кальций до 3 масс. %, а также другие элементы в незначительных количествах (алюминий, кремний, титан, цирконий, свинец, сера).

С целью уменьшения содержания железа была проведена магнитная сепарация концентрата, массовая доля отсепарированной части составила 36,2%. Затем порошки перемалывали в шаровой мельнице SAMPLE SPEX 8000M в течение 30 мин при частоте 25 Гц.

Эффективность магнитной сепарации была подтверждена данными рентгенофлуоресцентного анализа, которые представлены в таблицах 1-3. Измерения проводили с использованием прибора BRUKER S1 TITAN.

Таблица 1 – Элементный состав исходной руды

Элементы	Первое измерение, ат. %	Второе измерение, ат. %	Третье измерение, ат. %	Среднее, ат. %
W	64,05	64,11	63,93	64,03
Fe	23,81	24,52	23,24	23,86
Pb	2,28	2,16	2,35	2,26
Mn	5,29	5,29	5,32	5,3
Ti	1,46	1,2	1,32	1,33

Таблица 2 – Элементный состав обработанной руды

Элементы	Первое измерение, ат. %	Второе измерение, ат. %	Третье измерение, ат. %	Среднее, ат. %
W	81,01	80,43	81	80,81

Продолжение таблицы 2

Элементы	Первое измерение, ат. %	Второе измерение, ат. %	Третье измерение, ат. %	Среднее, ат. %
Fe	6,18	6,29	5,92	6,13
Pb	1,94	1,84	1,85	1,88
Mn	6,54	6,51	6,53	6,53
Au	1,23	1,33	1,4	1,32

Таблица 3 – Элементный состав отсепарированной части руды с преобладающей долей железа

Элементы	Первое измерение, ат. %	Второе измерение, ат. %	Третье измерение, ат. %	Среднее, ат. %
W	37,81	37,68	37,58	37,69
Fe	51,57	51,82	51,55	51,65
Pb	2,24	2,06	2,18	2,16
Mn	3,7	3,75	3,78	3,74
Ti	2,26	2,35	2,5	2,37

В качестве источника углерода был взят сибирский углеродный носитель (сибунит), так как данный материал характеризуется высокой химической чистотой (содержание золы не превышает 0,5 – 1,0 мас. %) [37].

В качестве электродов были выбраны графитовые для предотвращения плавления электродов в процессе синтеза, а также для поддержания защитной газовой среды в процессе синтеза. Катод выполнен в форме цилиндрического тигля (внутренний диаметр – 25 мм, внешний диаметр – 30 мм, высота – 40 мм), анод – в форме цилиндра высотой 100 мм и диаметром 8 мм.

2.2 Устройство и принцип работы электродугового реактора

Лабораторная установка на рисунке 2 представляет собой электродуговой реактор постоянного тока совмещенного типа, где зона выделения энергии и зона синтеза расположены в одной области пространства.

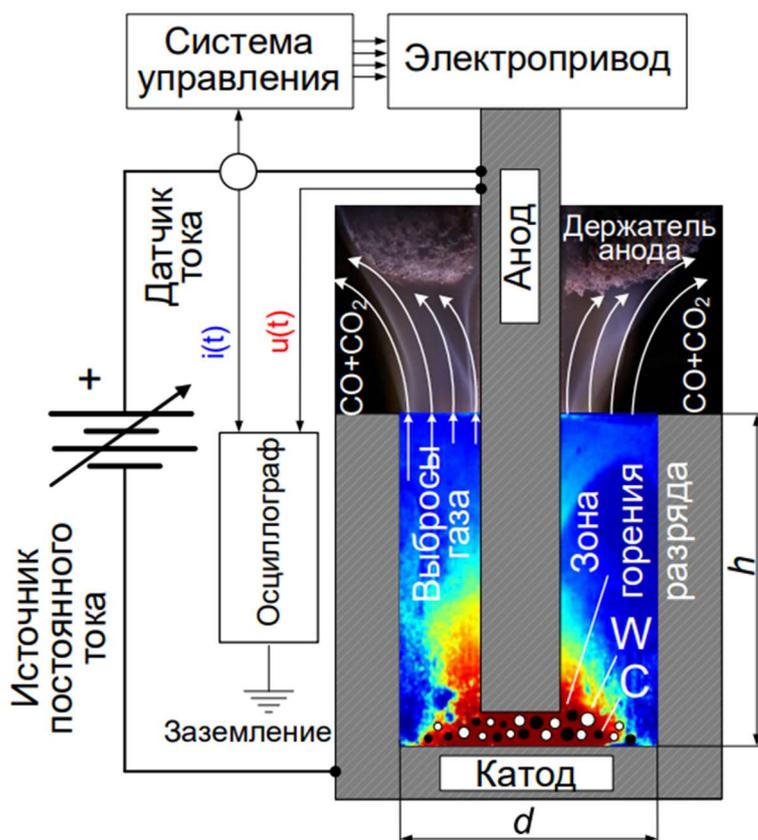


Рисунок 2 – Схема электродугового реактора

Источник постоянного тока включает в себя частотный преобразователь, повышающий частоту тока и, соответственно, уменьшающий размеры трансформатора, понижающий трансформатор, увеличивающий силу тока и понижающий напряжение, и выпрямитель тока. Ток подается к графитовым электродам: катод выполнен в форме тигля, анод – в форме цилиндра. Анод передвигается с помощью автоматизированной системы перемещения анода, которая базируется на электроприводе с шаговым двигателем, который, в свою очередь, находится под управлением

программируемого контроллера. В процессе синтеза цифровой осциллограф регистрирует значения тока и напряжения. Также для измерения температуры внешней стенки катода применяется высокотемпературный термометр. Осуществляется фотосъемка процесса на фотокамеру с нейтральным светофильтром.

Исходные материалы закладываются в катод, в полости которого поджигается дуговой разряд. Электрическая мощность порядка 5 кВт обеспечивает ввод порядка десятков килоджоулей энергии в систему за несколько секунд. При этом, согласно известной диаграмме состояний системы «вольфрам – углерод» на рисунке 3 [36] достигаются условия для синтеза карбидов вольфрама, так как температура в плазменном факеле достигает нескольких тысяч градусов.

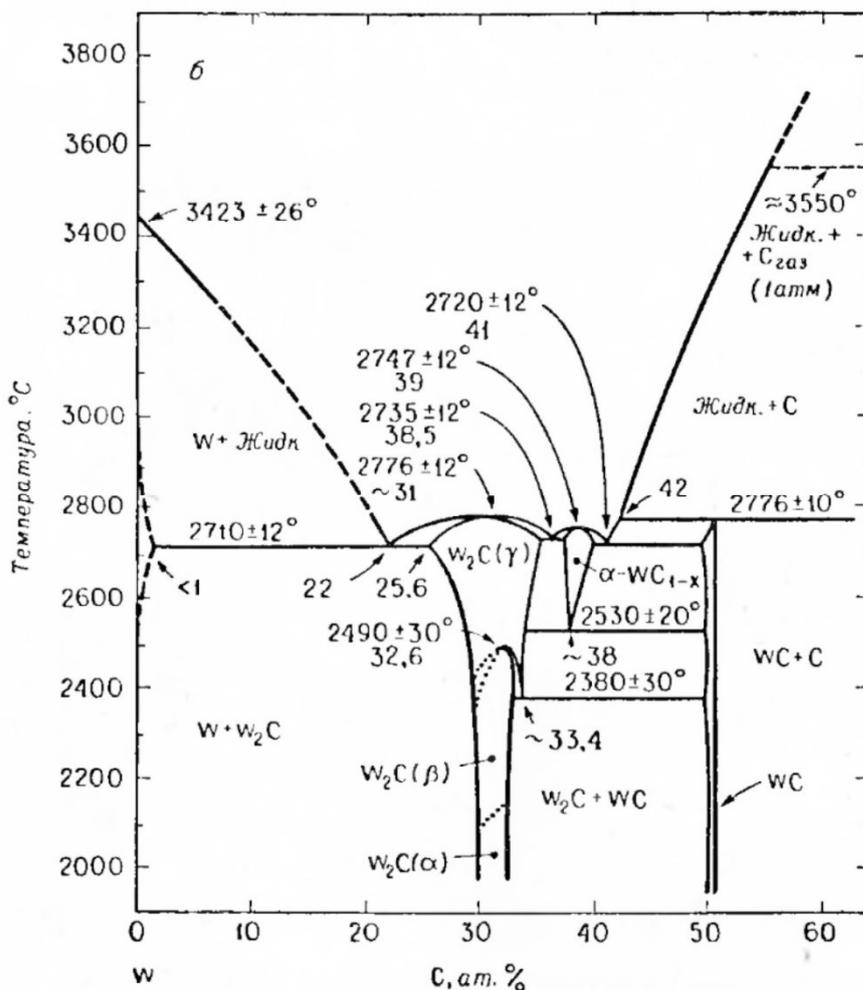


Рисунок 3 – Фазовая диаграмма системы «вольфрам – углерод»

В ходе рабочего цикла электродугового реактора при токе разрядного контура 220 А происходит выделение энергии, возрастает температура катода, в полости которого идет синтез, до 1000-1200 °С, происходит расход анода ввиду известного явления электроэрозии, эродированная масса образует катодный депозит на дне тигля – катода. В ходе работы системы происходит интенсивное выделение газов CO и CO₂, которые видно на газоанализаторе (рисунок 4), эти газы экранируют реакционный объем от кислорода воздуха. Благодаря этому явлению возможно реализовать электродуговой синтез в рассматриваемой системе, инициируя дуговой разряд в открытой воздушной среде, то есть без применения вакуумного оборудования.

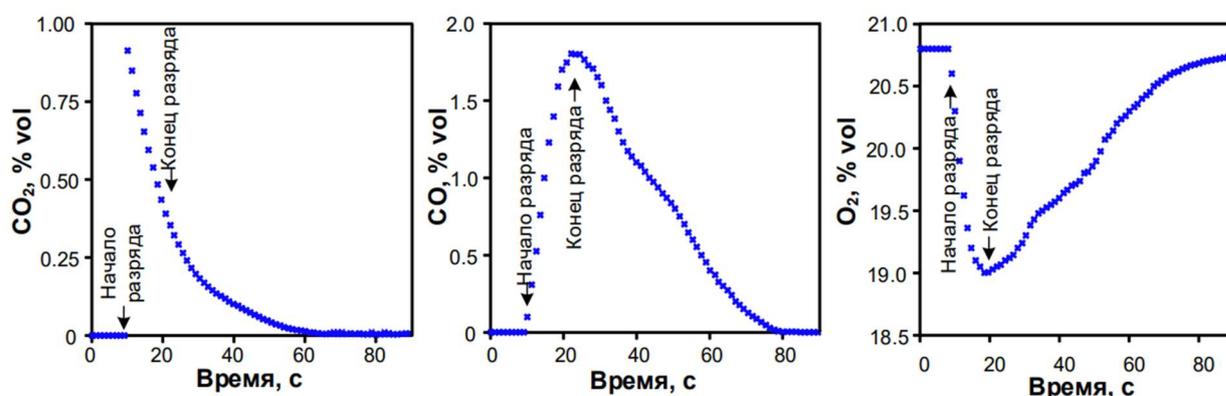


Рисунок 4 – Изменение концентрации газов в процессе синтеза

2.3 Основные методы исследования продуктов синтеза

Исследование продуктов синтеза проводилось на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000s ($\lambda=1,54060 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) с использованием базы данных PDF4+. Эталонные рентгеновские дифрактограммы строились в программной среде SearchMatch по данным карточек базы данных PDF4+.

По данным рентгенофазового анализа также был проведен расчет массовой доли каждой из идентифицируемых фаз методом корундовых чисел по формуле (1):

$$W_k = \frac{I_k^{\max} / RIR_k}{\sum_i I_i^{\max} / RIR_i} \quad (1)$$

где RIR – корундовое число;

I_k^{\max} – интенсивность самого высокого пика на картине рентгеновской дифракции для k -ой фазы.

Корундовые числа RIR (Reference Intensity Ratio) были взяты из базы данных PDF4+. Корундовое число – отношение интенсивностей самых высоких рефлексов определенного вещества и корунда Al_2O_3 в смеси 1:1.

3 Определение параметров синтеза, обеспечивающих наибольшую долю карбида вольфрама среди остальных фаз в продукте синтеза

3.1 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от соотношения масс исходных реагентов

В первой серии экспериментов изменяли соотношение масс прекурсоров (сибунита и вольфрамового рудного концентрата). Данные экспериментальных исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные серии экспериментов с изменением соотношения масс исходных реагентов

Время, с	Сила тока, А	Соотношение масс	Масса исходного порошка, г	Масса продукта синтеза, г
45	220	1/18,9	1	0,5
45	220	1/15,1	1	0,5
45	220	1/4,7	1	0,6
45	220	1/4,1	1	0,42
45	220	1/3,8	1	0,61
45	220	1/2,7	1	0,34

На рисунке 5 представлены рентгеновские дифрактограммы продуктов электродугового синтеза, полученных из смесей с различным массовым соотношением прекурсоров.

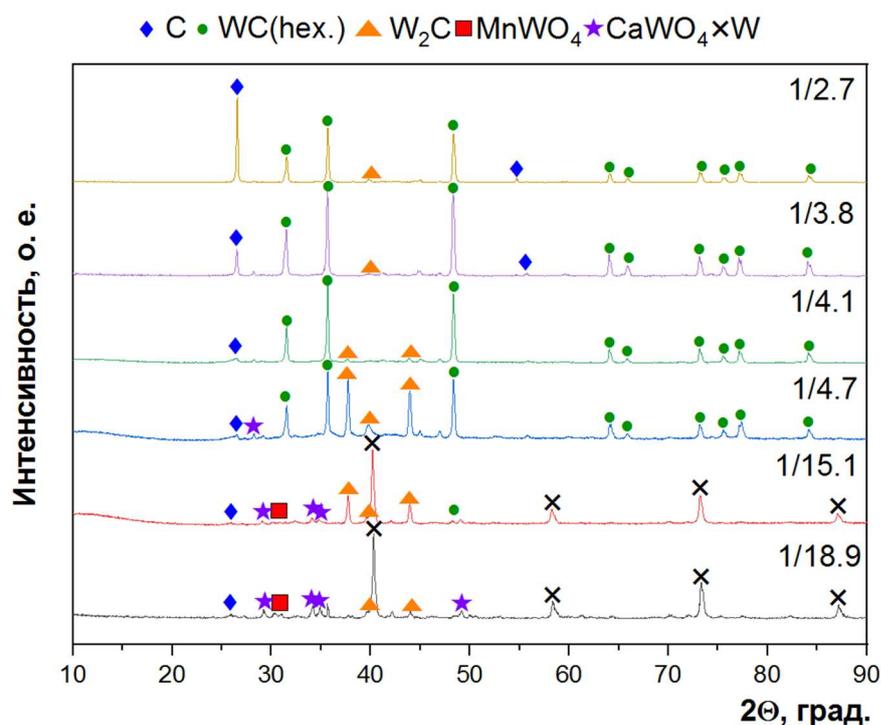


Рисунок 5 – Зависимость фазового состава продукта электродугового синтеза от соотношения исходных реагентов

В типичных продуктах электродугового синтеза идентифицируются фазы, содержащиеся в исходной руде: шеелит CaWO_4 и гюбнерит MnWO_4 , а также карбиды вольфрама WC и W_2C и графит. Фазы карбидов вольфрама формируются в результате воздействия высоких температур, достигаемых при горении дугового разряда в присутствии углерода, согласно известным данным о параметрах диаграммы состояний в системе «вольфрам-углерод» [36]. Формирование нескольких кристаллических фаз карбида вольфрама типично для электродуговых методов его синтеза [31]. Определено, что при соотношении масс исходных реагентов 1/18,9 и 1/15,1 в продукте синтеза наблюдается наличие фазы вольфрама W . Это связано с недостатком углерода для образования карбида вольфрама. Также на дифрактограмме, соответствующей соотношению масс исходных реагентов 1/15,1, видно, что в первую очередь образуется W_2C , а потом WC , что соответствует теоретическим данным. При увеличении соотношения масс углерода и вольфрамового концентрата руды от 1/18,9 до 1/4,1 наблюдается уменьшение доли фаз шеелита CaWO_4 и гюбнерита MnWO_4 и увеличение выхода фазы

карбида вольфрама WC. Дальнейшее увеличение доли углерода в исходных реагентах образует избыток углерода в продукте синтеза.

Затем был проведен количественный рентгенофазовый анализ образцов методом корундовых чисел. Был построен график зависимости массовой доли фаз от соотношения масс исходных реагентов, который представлен на рисунке 6.

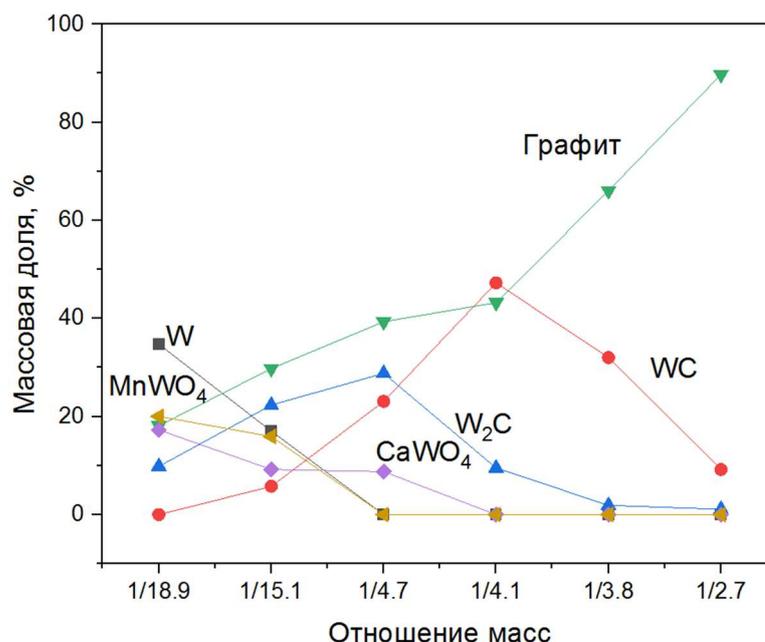


Рисунок 6 – Зависимость массовой доли фаз, содержащихся в продукте синтеза, от соотношения исходных реагентов

Установлено, что при массовом соотношении сибунита и обработанного рудного концентрата, равном 1/4,1, массовая доля фаз MnWO₄ и CaWO₄, содержащихся в исходной руде, близка к нулю. При этом наблюдается максимальная массовая доля WC (47,27%). Однако также присутствует значительная доля графита (43,22%) и W₂C (9,51%). Вероятнее всего, это связано с неоднородным тепловым полем дугового разряда внутри катода, в связи с чем у краев катода не хватало подведенной энергии для реакции карбидообразования. Помимо вышесказанного, также имеет место быть эрозия анода, которая также повышает массовую долю графита в продукте синтеза.

3.2 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от времени синтеза

Во второй серии экспериментов изменяли время синтеза от 15 с до 45 с при определенном ранее соотношении масс прекурсоров 1/4,1 и токе разрядного контура 220 А. Данные этой серии экспериментов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные серии экспериментов с изменением времени синтеза

Время, с	Сила тока, А	Соотношение масс	Масса исходного порошка, г	Масса продукта синтеза, г
15	220	1/4,1	1	0,82
25	220	1/4,1	1	0,38
35	220	1/4,1	1	0,55
45	220	1/4,1	1	0,42

Рентгеновские дифрактограммы продуктов электродугового синтеза, полученных при различном времени синтеза представлены на рисунке 7. Дифрактограмма с временем синтеза 45 с была взята из первой серии экспериментов.

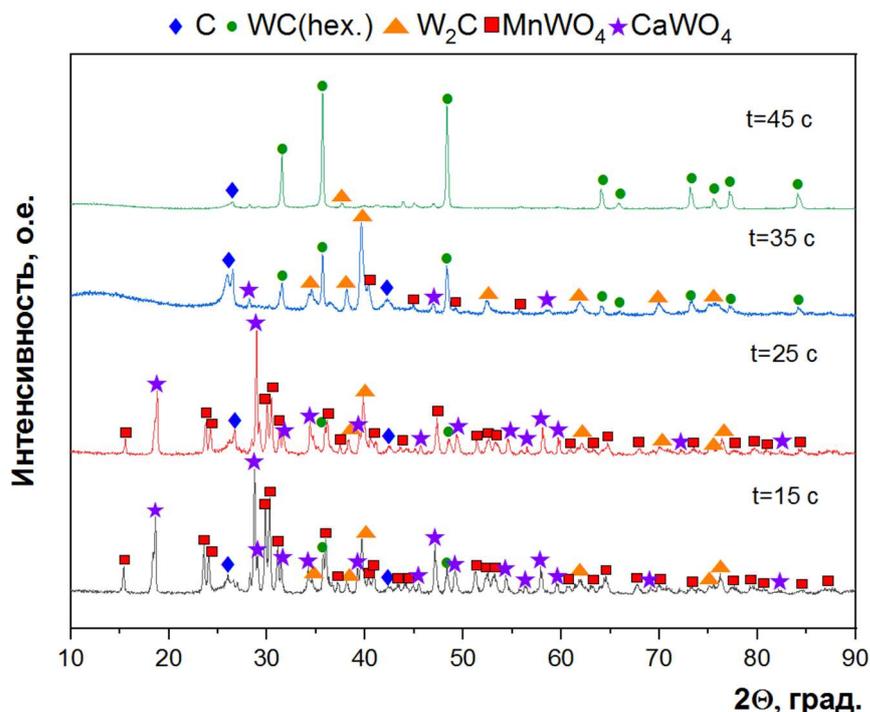


Рисунок 7 – Зависимость фазового состава продукта электродугового синтеза от времени синтеза

Методом корундовых чисел были определены массовые доли фаз в продуктах синтеза, построен график зависимости содержания фаз от времени синтеза, представленный на рисунке 8.

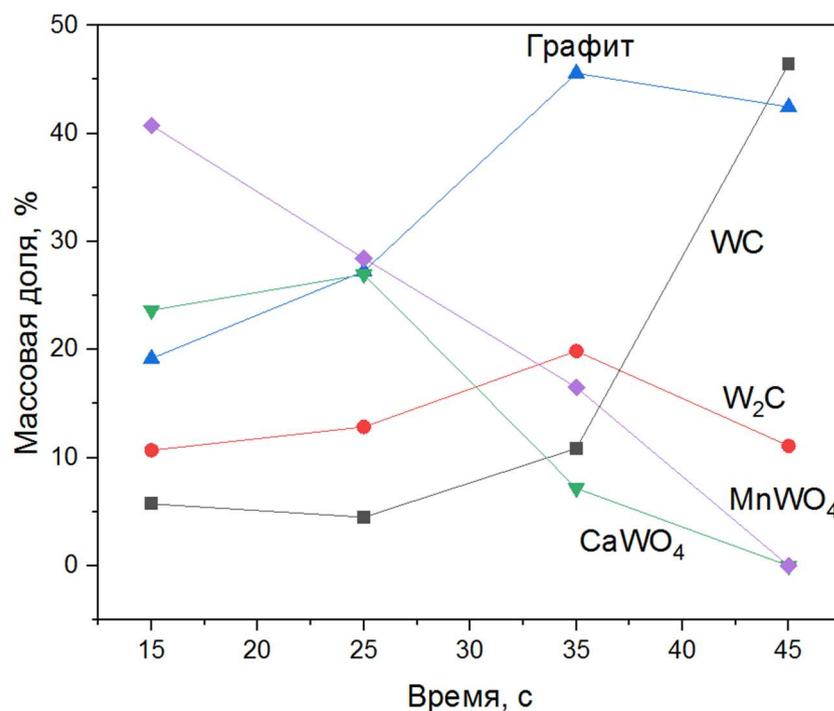


Рисунок 8 – Зависимость массовой доли фаз, содержащихся в продукте синтеза, от времени синтеза

Видно, что с увеличением времени синтеза и, соответственно, увеличением энергии, вводимой в систему, уменьшается доля фаз, содержащихся в исходной руде, и растет доля фазы WC. Установлено, что при времени синтеза 45 с доля карбида вольфрама в продукте синтеза наибольшая по сравнению с остальными фазами.

3.3 Исследование зависимости фазового состава продукта синтеза от силы тока разрядного контура

Во третьей серии экспериментов изменяли ток разрядного контура от 50 А до 220 А при определенном ранее соотношении масс прекурсоров 1/4.1 и времени синтеза 45 с. Данные этой серии экспериментов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные серии экспериментов с изменением тока разрядного контура

Время, с	Сила тока, А	Соотношение масс	Масса исходного порошка, г	Масса продукта синтеза, г
45	50	1/4,1	1	0,76
45	100	1/4,1	1	0,81
45	150	1/4,1	1	0,55
45	220	1/4,1	1	0,42

Рентгеновские дифрактограммы продуктов электродугового синтеза, полученных при различном токе разрядного контура, представлены на рисунке 9.

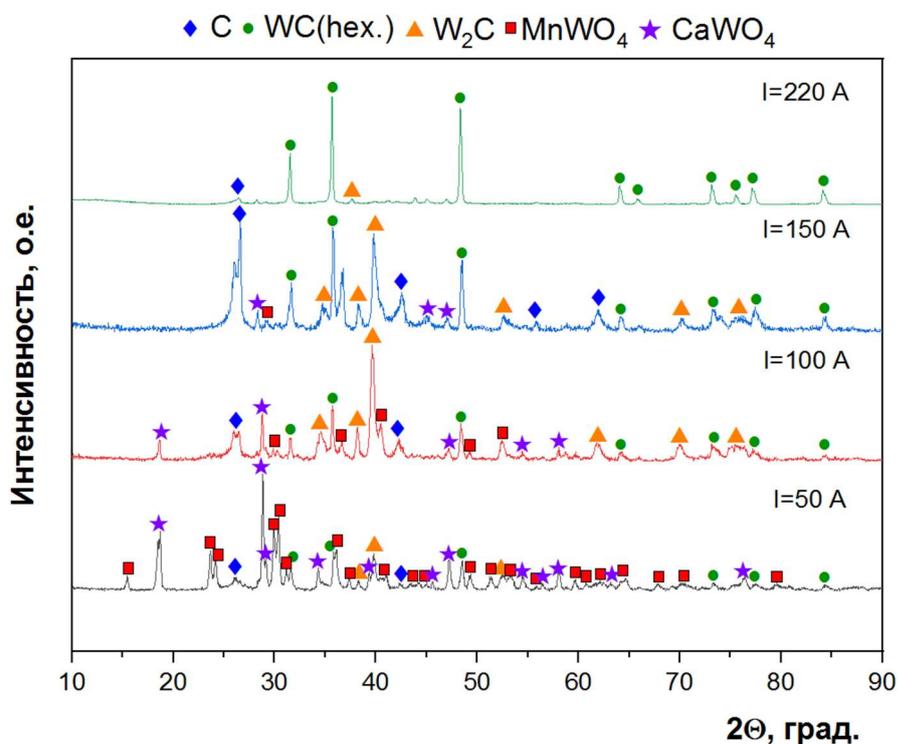


Рисунок 9 – Зависимость фазового состава продукта электродугового синтеза от силы тока разрядного контура

Методом корундовых чисел были определены массовые доли фаз в продуктах синтеза, построен график зависимости содержания фаз от тока разрядного контура, представленный на рисунке 10.

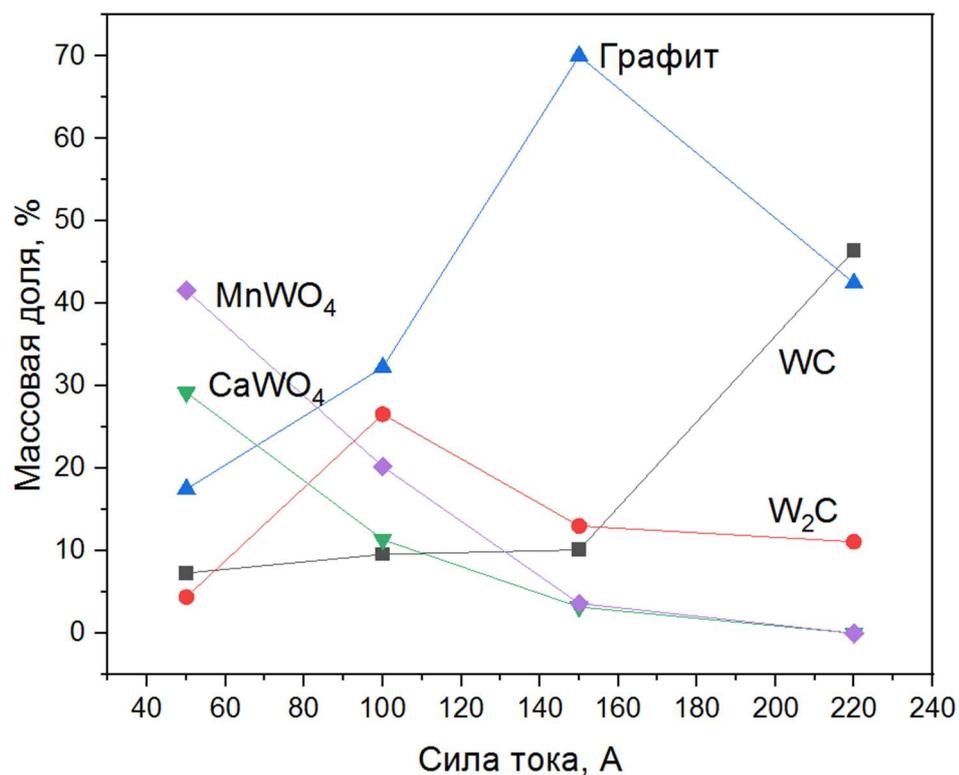


Рисунок 10 – Зависимость массовой доли фаз, содержащихся в продукте синтеза, от силы тока

Установлено, что при увеличении рабочей силы тока растет выход карбида вольфрама WC и уменьшается доля фаз, содержащихся в исходном вольфрамовом рудном концентрате. Это связано с увеличением энергии, вводимой в систему в процессе синтеза. Определено, что при силе тока 220 А доля карбида вольфрама в продукте синтеза наибольшая по сравнению с остальными фазами.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б91	Кокориной Александре Ивановне

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы – 16 %. Районный коэффициент – 30 %. Премияльный коэффициент составляет 30 % от оклада. Коэффициент доплат и надбавок 20 % от оклада.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценить потенциальных потребителей исследования, проанализировать конкурентных решений, представить SWOT – анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Представить план этапов работ, определить трудоёмкость и построить календарный график, сформировать бюджет НИ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определить интегральные показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности разработки. Рассчитать сравнительную эффективность проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кокорина Александра Ивановна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Данное исследование посвящено развитию электродугового метода получения карбида вольфрама WC из отходов горно-обогатительного производства в открытой воздушной среде. Полученный порошок в перспективе может быть использован в качестве носителя катализатора в реакциях получения водорода. Таким образом, результат исследования необходим предприятиям по производству карбида вольфрама (ОАО “Кировградский завод твердых сплавов”, ЗАО “Вольфрам”, ООО “НПК РОСНАМИС”, ООО “РОСНАМИС”) и предприятиям по производству водорода (Госкорпорация “Росатом”, ООО “ГАЗПРОМ НЕФТЕХИМ САЛАВАТ”, ПАО “НК “РОСНЕФТЬ”).

В таблице 7 представлен анализ конкурентных технических решений [58]. Конкурент 1 – производственное получение карбида вольфрама из руды. Многостадийный процесс и энергозатратный процесс, включающий следующие стадии: предварительное измельчение, выщелачивание под давлением, промывка, разделение твердой и жидкой фаз, химическая обработка, подкисление и разбавление, полирующая фильтрация для удаления осадков, добавление вольфрамата натрия, экстракция растворителем, кристаллизация, фильтрация, окислительное прокаливание, карботермическое восстановление оксида вольфрама WO_3 при высоких температурах.

Конкурент 2 – электродуговой синтез в защитной газовой среде, прямой аналог разработанного метода, отличающийся наличием защитной газовой среды (аргон) в процессе синтеза.

Описание разработки представлено в главах 2-3.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _р	Б _{к1}	Б _{к2}	К _р	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Чистота продукта	0,164	9	8	10	1,473	1,309	1,636
2. Энергоэкономичность	0,145	10	5	6	1,455	0,727	0,873
3. Производительность	0,182	5	10	5	0,909	1,818	0,909
4. Экологичность	0,073	8	5	9	0,582	0,364	0,655
5. Наименьший размер полученных частиц	0,018	9	7	9	0,164	0,127	0,164
6. Наименьшее число стадий синтеза	0,127	10	5	6	1,273	0,636	0,764
7. Отсутствие применения дополнительных веществ в процессе синтеза	0,036	10	6	6	0,364	0,218	0,218
8. Простота эксплуатации	0,055	10	5	5	0,545	0,273	0,273
9. Автоматизация процесса	0,109	9	10	9	0,982	1,091	0,982
10. Наличие перспектив развития	0,091	10	6	8	0,909	0,545	0,727
Итого	1	90	67	73	8,655	7,109	7,2

Вывод: разработанный в ходе проекта метод переработки вольфрам содержащей руды наиболее конкурентоспособен. Он лидирует в энергоэкономичности процесса, имеет наименьшее число стадий, не требует дополнительных ресурсов в процессе синтеза помимо прекурсоров, прост в эксплуатации и имеет дальнейшие перспективы развития.

В таблице 8 представлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе [59].

Таблица 8 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Энергоэффективная технология по сравнению с аналогами; С2. Меньше стадий, чем в производственном процессе; С3. Экологичность технологии; С4. Более дешевое и простое оборудование, применяемое в проекте.</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Низкая производительность; Сл2. Неавтоматизированная обработка руды.</p>
<p>Возможности: В1. Фокус правительства на экологию и развитие водородных технологий; В2. Использование оборудования ТПУ; В3. Гранты (РНФ, Президента и т.д.); В4. Ниша в сфере переработки вольфрам содержащих материалов; В5. Применение в сфере водородных технологий.</p>	<p>Привлекать необходимые ресурсы для дальнейшего развития разработки.</p>	<p>Использовать средства и ресурсы для перехода технологии из лабораторного в промышленный масштаб (масштабирование разработки).</p>
<p>Угрозы: У1. Уже устоявшиеся технологии производства; У2. Недостаточное финансирование для создания установки промышленного масштаба.</p>	<p>Осуществлять публикацию материалов о данной разработке, представлять её на конференциях и конкурсах.</p>	<p>Заключать договоры с предприятиями и научными группами для развития разработки.</p>

На основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что научно-исследовательский проект хоть и имеет слабые стороны, но данные недочеты незначительны, и компенсируются перспективными возможностями и сильными сторонами проекта.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Первый вариант исполнения подробно описан в главах 2-3 выпускной квалификационной работы.

Второй вариант исполнения работы заключается в использовании в качестве исходных прекурсоров чистого вольфрама и углерода, а не вольфрамового рудного концентрата и углерода.

Преимуществами данного метода являются большая чистота продукта синтеза в силу отсутствия посторонних фаз в исходных реагентах, больший выход карбида вольфрама, возможность более точного прогнозирования фазового состава продукта синтеза, отсутствие необходимости предварительной обработки прекурсоров перед синтезом.

В число недостатков данного метода входит более высокая стоимость прекурсоров (так как чистый вольфрам дороже вольфрамового рудного концентрата из отходов горно-обогатительного производства), а также данный вариант исполнения работы не решает экологическую проблему залежей хвостов горно-обогатительного производства, так как в них содержится вольфрамовый рудный концентрат, а не чистый вольфрам.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

В таблице 9 представлена структура работ в рамках научного исследования.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические исследования	2	Обзор научной литературы	Студент
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Проведение ОКР			
Экспериментальные исследования	4	Подготовка реагентов	Студент
	5	Проведение серии экспериментов с разным соотношением прекурсоров	Руководитель, студент
	6	Рентгенофазовый анализ образцов	Оператор рентгена, студент
	7	Проведение серии экспериментов с разным временем синтеза	Руководитель, студент
	8	Рентгенофазовый анализ образцов	Оператор рентгена, студент
	9	Проведение серии экспериментов с разным током разрядного контура	Руководитель, студент
	10	Рентгенофазовый анализ образцов	Оператор рентгена, студент
Оформление отчета по НИР	11	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	Студент
	12	Составление пояснительной записки	Студент

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используют следующее соотношение (2):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями (3):

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

Перевод рабочих дней в календарные (4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

где $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (5):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})}, \quad (5)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году, 365 дней;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году, 104 дня;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году, 14 дней.

Расчет коэффициента календарности:

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

Все значения, полученные при расчетах трудоемкости работ по вышеприведенным формулам, приведены в таблице 10, где студент обозначен С, научный руководитель – Р, а оператор рентгена – О.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2		
Составление и утверждение технического задания	1	1	3	3	1,8	1,8	Р	Р	1,8	1,8	2,7	2,7
Обзор научной литературы	10	10	20	20	14	14	С	С	14	14	20,7	20,7
Календарное планирование работ по теме	2	2	5	5	3,2	3,2	Р, С	Р, С	1,6	1,6	2,4	2,4
Подготовка реагентов	1	0,7	3	2,1	1,8	1,3	С	С	1,8	1,3	2,7	1,9
Проведение серии экспериментов с разным соотношением прекурсоров	0,5	0,5	1	1	0,7	0,7	Р, С	Р, С	0,35	0,35	0,52	0,52
Рентгенофазовый анализ образцов	10	10	20	20	14	14	О, С	О, С	7	7	10,4	10,4
Проведение серии экспериментов с разным временем синтеза	0,5	0,5	1	1	0,7	0,7	Р, С	Р, С	0,35	0,35	0,52	0,52
Рентгенофазовый анализ образцов	10	10	20	20	14	14	О, С	О, С	7	7	10,4	10,4
Проведение серии экспериментов с разным током разрядного контура	0,5	0,5	1	1	0,7	0,7	Р, С	Р, С	0,35	0,35	0,52	0,52

Продолжение таблицы 10

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни							
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Рентгенофазовый анализ образцов	10	10	20	20	14	14	О, С	О, С	7	7	10,4	10,4
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	10	10	20	20	14	14	С	С	14	14	20,7	20,7
Составление пояснительной записки	15	15	20	20	17	17	С	С	17	17	25,2	25,2
Итого:											107,2	106,4

Также в таблице 11 представлена длительность общей работы в рабочих днях для каждого из исполнителей для двух вариантов исполнений.

Таблица 11 – Длительность работ в рабочих днях для каждого исполнителя

Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	
	Исп. 1	Исп. 2
Руководитель	4,45	4,45
Студент	70,45	69,95
Оператор рентгена	21	21

С помощью показателей в таблице 10 был разработан календарный план-график. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

В таблице 12 представлен план-календарный график проведения научного исследования.

Таблица 12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Испол.	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ													
				Сен.		Окт.			Нояб.			Март			Апр		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2,7	■													
2	Обзор научной литературы	С	20,7	■	■	■											
3	Календарное планирование работ по теме	Р, С	2,4			■	■										
4	Подготовка реагентов	С	2,7				■										
5	Проведение серии экспериментов с разным соотношением прекурсоров	Р, С	0,52				■	■									
6	Рентгенофазовый анализ образцов	О, С	10,4				■	■	■								
7	Проведение серии экспериментов с разным временем синтеза	Р, С	0,52							■	■						
8	Рентгенофазовый анализ образцов	О, С	10,4							■	■	■					
9	Проведение серии экспериментов с разным током разрядного контура	Р, С	0,52								■	■					

Продолжение таблицы 12

№	Вид работ	Испол.	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ													
				Сен.		Окт.			Нояб.			Март			Апр		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
10	Рентгенофазовый анализ образцов	О, С	10,4														
11	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности и экологичности проекта	С	20,7														
12	Составление пояснительной записки	С	25,2														

 – студент;  – руководитель;  – оператор рентгена.

Представим расчет материальных затрат в таблице 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Вольфрамовый концентрат руды	г	100	0	0,2	0	20	0
Порошок чистого вольфрама	г	0	100	0	6,9	0	690
Графитовые электроды	шт	2	2	165	165	330	330
Углеродный носитель	г	50	50	5	5	250	250
Пластиковые пробирки	шт	40	40	35	35	1400	1400
Итого:						2000	2670

Для расчета амортизации представим количество дней, за которое эксплуатировалось оборудование, в таблице 14.

Таблица 14 – Количество дней эксплуатации оборудования

Наименование оборудования	Время эксплуатации, дни
Электродуговой реактор	1,56
Вибрационная мельница SAMPLE SPEX 8000M	1
Персональный компьютер	102,9

В таблице 15 представлены затраты на спецоборудование.

Таблица 15 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

Наименование оборудования	Стоимость, тыс. руб.	Срок службы, лет	Амортизационные отчисления, руб.
Электродуговой реактор	165	5	141
Вибрационная мельница SAMPLE SPEX 8000M	3 000	10	822
Персональный компьютер	50	5	2819
Итого:			3782

Затраты на спецоборудование одинаковы для исполнения 1 и исполнения 2.

Оклад научного руководителя (доктора технических наук, заведующего лабораторией) – 44800 руб.

Оплата труда студента (ставка техника) – 16100 руб.

Оплата труда оператора рентгена (научный сотрудник, кандидат технических наук) – 30300 руб.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле [6]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (6)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (7):

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_о}, \quad (7)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

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

Расчет действительного годового фонда рабочего времени для всех исполнителей представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Оператор рентгена
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней:	118	118	118
– выходные дни;			
– праздничные дни.			
Потери рабочего времени:	24	24	24
– отпуск;			
– невыходы по болезни.			
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223	223

Месячный должностной оклад работника (8):

$$Z_M = Z_{мс} \cdot k_p, \quad (8)$$

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

k_p – районный коэффициент, равный 1.3 (г. Томск).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется, исходя из следующей формулы (9):

$$Z_{внеб} = Z_{осн} \cdot k_{внеб}, \quad (9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, на 2023 год составляет 30 %.

Расчет для научного руководителя в случае исполнения 1:

$$Z_M = 44800 \cdot 1,3 = 58240 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{58240 \cdot 11,2}{223} = 2925 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2925 \cdot 4,45 = 13016,25 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 13016,25 \cdot 0,3 = 3904,88 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов для всех исполнителей представлены в таблицах 17-18.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды для исполнения 1.

Исполнитель	$Z_{\text{тс}}$, руб,	k_p	Z_M , руб,	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб, дни	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Руководитель	44800	1,3	58240	2925	4,45	13016,25	3904,88
Студент	16100	1,3	20930	808,61	70,45	56966,57	17089,97
Оператор рентгена	30300	1,3	39390	1521,79	21	31957,59	9587,28
Итого:						101940,41	30582,13

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды для исполнения 2.

Исполнитель	$Z_{\text{тс}}$, руб,	k_p	Z_M , руб,	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб, дни	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Руководитель	44800	1,3	58240	2925	4,45	13016,25	3904,88
Студент	16100	1,3	20930	808,61	69,95	56562,27	16968,68
Оператор рентгена	30300	1,3	39390	1521,79	21	31957,59	9587,28
Итого:						101536,11	30460,84

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т. д. Их величина определяется по следующей формуле (10):

$$Z_{накл} = \text{сумма всех затрат} \cdot k_{нр}, \quad (10)$$

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

Тогда $Z_{накл.исп.1} = 21945,21$ руб., $Z_{накл.исп.2} = 21968,31$ руб.

Бюджет затрат научно-исследовательского проекта представим в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2
1. Материальные затраты НТИ	2000	2670
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	3782	3782
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	101940,41	101536,11
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30582,13	30460,84
5. Накладные расходы	21945,21	21968,31
6. Бюджет затрат НТИ	160249,75	160417,26

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности НИР получают в ходе оценки бюджета затрат двух или более вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин.р}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{фин.р}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Расчет для двух вариантов исполнения:

$$I_{\text{фин.п}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\max}} = \frac{160249,75}{160417,26} = 0,999;$$

$$I_{\text{фин.п}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\max}} = \frac{160417,26}{160417,26} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (12):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (12)$$

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

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя проводился с помощью таблицы 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Чистота продукта	0,2	3	5
2. Переработка отходов	0,4	5	1
3. Дешевизна исходных материалов	0,3	5	2
4. Длительность процесса подготовки реагентов	0,1	3	5
Итого	1	4,4	2,5

$$I_{p-\text{исп.1}} = 0,2 \cdot 3 + 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 4,4;$$

$$I_{p-\text{исп.2}} = 0,2 \cdot 5 + 0,4 \cdot 1 + 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 = 2,5.$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{исп.i}^{фин.p}}; \quad (13)$$

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{исп.1}^{фин.p}} = \frac{4,4}{0,999} = 4,404;$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{исп.2}^{фин.p}} = \frac{2,5}{1} = 2,5.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.i}}; \quad (14)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4,404}{2,5} = 1,762.$$

Все вышеперечисленные показатели эффективности для двух вариантов исполнения работы представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,999	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	2,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,404	2,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,762	

Исходя из данных таблицы 21, можно сделать вывод, что разработка в исполнении 1 эффективнее варианта в исполнении 2 в плане ресурсоэффективности, при этом финансовые показатели обеих разработок имеют близкие значения. Таким образом, эффективность разработки на 76,2 % больше эффективности исполнения 2.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0Б91		ФИО Кокориной Александре Ивановне	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Электродуговой синтез порошков на основе карбида вольфрама из отходов горно-обогатительного производства	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> электродуговой синтез карбида вольфрама. <i>Область применения:</i> производство карбида вольфрама. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория <i>Размеры помещения:</i> 41 м². <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> рабочий стол, ноутбук, весы, электродуговой реактор. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> взвешивание порошковой смеси, электродуговой синтез, обработка данных.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</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; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. 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 при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека. Источник – плазма дугового разряда; 2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. Источник – дуговой разряд; <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 4. Повышенный уровень шума; 5. Повышенная яркость света; 6. Перенапряжение зрительных анализаторов; 7. Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания. Источник – порошковая смесь; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: основная изоляция токоведущих частей, щиток со светофильтром, беруши, термоизолирующие перчатки, вентиляция и очистка воздуха.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: не обнаружено. Воздействие на литосферу: твердые отходы (графитовые электроды, пластиковые пробирки, компьютер). Воздействие на гидросферу: не обнаружено. Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционной системы, содержащие низкие концентрации угарного и углекислого газов.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС: пожар, авария электроэнергетических систем. Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б91	Кокорина Александра Ивановна		

5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Объектом исследования является электродуговой синтез карбида вольфрама WC из вольфрамового рудного концентрата в открытой воздушной среде. Соответственно, перспективной областью применения данной разработки является сфера получения карбида вольфрама, а также сфера переработки вольфрам содержащих отходов.

Потенциальными пользователями данного исследования могут быть как производители карбида вольфрама (ОАО «Кировградский завод твердых сплавов», ЗАО «Вольфрам», ООО «НПК РОСНАМИС», ООО «РОСНАМИС»), так и предприятия в сфере водородных технологий (Госкорпорация «Росатом», ООО «ГАЗПРОМ НЕФТЕХИМ САЛАВАТ», ПАО «НК «РОСНЕФТЬ»), так как WC также является перспективным носителем катализатора в реакциях получения водорода.

Исследование проводилось в лабораторных условиях.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В подразделе рассмотрены специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. Также тезисно приводятся основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя.

5.2.1 Правовые норма трудового законодательства

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ нормальная продолжительность рабочего времени исследователя не может превышать 40 часов в неделю и ежегодный оплачиваемый отпуск

продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, работающих в условиях неполного рабочего времени, нагрузка устанавливается пропорционально занимаемой ставке [38]. Также работодатель обязан обеспечить защиту данных работника от их неправомерного использования или утраты за счет средств работодателя в порядке, установленном Кодексом и иными федеральными законами. Оплата и нормирование труда регулируются разделом VI Трудового кодекса Российской Федерации.

5.2.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

На основе нормативных документов [39-40] необходимо соблюдение следующих эргономических требований:

- конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;
- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда;
- рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля;
- при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин;
- конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое

достигается регулированием высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног, высоты сиденья и подставки для ног;

– места возможных контактов органов управления с руками и ногами работающего должны быть выполнены из нетоксичных, а в необходимых случаях и из нетеплопроводных и электроизоляционных материалов.

5.2.3 Методические рекомендации при работе в аналитических лабораториях

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [41] при работе в лабораториях необходимо соблюдение следующих требований:

– на работу в лаборатории принимаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории;

– вновь поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после прохождения вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности;

– периодический инструктаж должен проводиться на рабочем месте дважды в год;

– все работающие в лаборатории должны быть обеспечены необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты;

Работа в лаборатории выполнялась в соответствии с нормативными документами [38-41].

5.3 Производственная безопасность

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий работа может быть разделена на три основных этапа:

- подготовка порошковых смесей: ручная магнитная сепарация, взвешивание, помол;
- синтез на электродуговом реакторе;
- обработка результатов на персональном компьютере: анализ осциллограмм, обработка результатов рентгенофазового анализа.

5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

В таблице 22 представлены вредные и опасные факторы и регулирующие нормативные документы.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека.	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
2	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
3	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.	СанПиН 1.2.3685–21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

Продолжение таблицы 22

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
4	Повышенный уровень шума.	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23- 03-2003.
5	Повышенная яркость света.	ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия.
6	Перенапряжение зрительных анализаторов.	Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
7	Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания.	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

5.3.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

В ходе работы электродугового реактора температура в плазме постоянного тока может достигать около десяти тысяч градусов Цельсия, температура катода, в котором происходит синтез – более тысячи градусов Цельсия. Вследствие этого возникает вероятность ожогов тканей организма человека.

Конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать возможность соприкосновения работающего с горячими частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев работающего. Если назначение производственного оборудования и условия его эксплуатации (например, использование вне производственных помещений) не могут

полностью исключить контакт работающего с горячими его частями, то эксплуатационная документация должна содержать требование об использовании средств индивидуальной защиты (например, термостойкие перчатки) [40].

5.3.3 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Из-за разности потенциалов между электродами в воздушном промежутке инициируется дуговой разряд, контур замыкается, величина тока достигает 220 А. Существует вероятность прохождения электрического тока через тело человека.

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки не должно превышать 8 В (постоянный ток) согласно 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. [42].

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение таких технических способов и средств основной защиты, как: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей, средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [43].

5.3.4 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

При отклонении от норм микроклиматических показателей возможно временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, без нарушения здоровья

Работа, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, относится к категории Ia [44]. Допустимые нормы микроклимата приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных значений	Диапазон выше оптимальных значений			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

По температуре воздуха в лаборатории соответствует нормам (23 °С). В производственных помещениях, где допускаемые нормативные величины локального микроклимата поддерживать не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегревания и охлаждения. Это достигается разными способами: использование систем местного кондиционирования воздуха; регламентацией периодов работы в неблагоприятном локальном микроклимате и отдыха в

помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние; уменьшение длительности рабочей смены и др.

5.3.5 Повышенный уровень шума

При работе в лаборатории с электрооборудованием и работе вентиляционных систем помещения возникают звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, которые способны оказать вредное воздействие на безопасность и здоровья работника [45].

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

В таблице 24 представлены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях лаборатории.

Таблица 24 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях лаборатории [46].

Для источников постоянного шума									Для источников непостоянного шума		
Уровни звукового давления дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, скорректированный по А, L _A	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука, L _{Aэкв} , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука L _{Amax} , дБ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	75	90

Уровень звука в лаборатории не превышает предельно допустимые уровни. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума [47]. Средства индивидуальной защиты: беруши, наушники и т.д.

5.3.6 Повышенная яркость света

Дуговой разряд постоянного тока сопровождается мощной лучистой и тепловой энергией. Тепловая энергия способна вызвать поражение глаз и ожоги незащищенных частей тела, резкую боль в глазах, светобоязнь, электроофтальмию. Яркость электрической дуги превышает 1600 стильб. Нормальное зрение человека способно воспринимать безболезненно яркость не более одного стильба.

Для защиты лица исследователя во время выполнения синтеза используется щиток, в смотровое отверстие которого вставлен светофильтр по ГОСТ 12.4.080-79 [48]. Защита от инфракрасного излучения может быть обеспечена сокращением времени пребывания в зоне воздействия теплового излучения.

5.3.7 Перенапряжение зрительных анализаторов

При обработке результатов экспериментов требуется длительная работа с ПЭВМ, что влечет за собой перенапряжение зрительного анализатора. Эта нагрузка приводит к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук.

По нормативным документам для безопасной работы с ПЭВМ без вреда для зрительных анализаторов рекомендуется делать регламентированные перерывы и регулировать параметры монитора так, чтобы оно не оказывало негативных эффектов на зрительный анализатор [49].

5.3.8 Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания

Так как и исходными реагентами, и продуктом исследования являются порошковые материалы, возможно загрязнение воздушной среды в зоне дыхания частицами порошка в процессе работы.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [50] ПДК вольфрама и карбида вольфрама составляет 6 мг/м³. Они являются аэрозолями преимущественно фиброгенного действия.

В ходе работы необходимо пользоваться средствами нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (вентиляция и очистка воздуха).

5.4 Экологическая безопасность

Атмосфера. Источником загрязнения являются газообразные отходы (угарный СО и углекислый СО₂ газы), рассеиваемые в атмосфере через вентиляционные трубы. Согласно СанПиН 2.1.6.1032-01. «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест» [51] являются гигиенические нормативы - предельно допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнений химических и биологических веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого и косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания.

Так как синтез, в результате которого вырабатываются газообразные отходы, проводится несколько раз в день, а его время не превышает 45 с, то

целесообразно использовать значения максимального разового ПДК (для CO – 5 мг/м³) [50]. Концентрация вырабатываемого в течение дня угарного газа не превышает ПДК. Для снижения выхода в атмосферу углекислого газа можно использовать сорбционные фильтры.

Литосфера. В результате проведения работ остаются твердые отходы (графитовые электроды, пластиковые пробирки). Графитовые электроды относятся к V классу опасности отходов (практически неопасные отходы) [52]. Возможна утилизация графитовых отходов путем высокотемпературной обработки. Пластиковые пробирки изготавливают из полистирола или полипропилена, они относятся к V классу опасности и могут быть подвергнуты переработке.

Также в ходе работы используется ПЭВМ. Компьютеры, утратившие потребительские свойства относятся к IV классу опасности (малоопасные отходы). Обезвреживание и размещение отходов I–IV классов опасности проводятся организациями, имеющими лицензию на осуществление этой деятельности. При неправильной утилизации компьютера может значительно пострадать экология, поэтому предлагается следующий порядок утилизации:

- удаление всех опасных компонентов;
- удаление всех крупных пластиковых частей. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель, и все дальнейшие операции автоматизированы;
- измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше.

Воздействие на селитебную зону и гидросферу не обнаружено.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ возможных ЧС

При проведении исследования возможно возникновение следующего вида возможного ЧС: техногенные аварии, связанные с возникновением пожара в помещении лаборатории, и авария электроэнергетических систем в помещении лаборатории; причинами возникновения данного вида аварии в помещениях лаборатории может быть обусловлено вследствие несоблюдения правил техники безопасности при эксплуатации электродугового реактора.

5.5.2 Наиболее вероятная ЧС

Вследствие несоблюдения правил технической безопасности, источником возникновения пожара, как наиболее типичной ЧС, может послужить работа в лаборатории с электродуговым реактором. Также возникновение пожара возможно в результате неполадок электрического оборудования.

При возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара. При тушении пожара, вызванного указанными химическими веществами, применяют порошковые, пенные, и углекислотные огнетушители, а также песок. Для тушения электрооборудования применяют углекислотные огнетушители [53].

5.6 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе.

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности» [54]. Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать II группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы II по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [55].

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории Ia (работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением) [44].

Помещение лаборатории категории помещения группы Г, возможный класс пожара Е. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива [56].

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [57].

Заключение

В ходе данной работы были определены параметры электродугового синтеза карбида вольфрама из вольфрамового рудного концентрата в открытой воздушной среде, при которых карбид вольфрама обладает наибольшей долей из всех присутствующих в продукте синтеза фаз.

Установлено, что соотношение масс сибунита и вольфрамового рудного концентрата, равное 1/4,1 при времени синтеза 45 с и токе разрядного контура 220 А, обеспечивает наибольшую долю WC в продукте синтеза. При меньшем значении наблюдается недостаток углерода для образования карбида вольфрама, при большем – избыток графита в продукте синтеза.

Было определено, что уменьшение времени синтеза и тока разрядного контура ведет к снижению выхода карбида вольфрама. Таким образом, только при максимальных значениях времени и силы тока (45 с и 220 А) наблюдается преобладание доли карбида вольфрама в продукте синтеза.

Таким образом, при соотношении масс прекурсоров 1/4,1, времени синтеза 45 с и токе разрядного контура 220 А фаза WC обладает наибольшей долей из всех присутствующих в продукте синтеза фаз, массовая доля составляет 47,27%.

Список публикаций

1. Пак, А. Я. Электродуговой синтез карбида вольфрама из рудных концентратов / А. Я. Пак, Т. Ю. Якич (Черкасова), А. И. Кокорина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021 – Т. 332, № 5. - С. 177-178.

2. Кокорина А.И. Обработка вольфрамового концентрата руды в плазме дугового разряда постоянного тока// Перспективы развития фундаментальных наук : сборник трудов XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых : в 7 томах. Том 1. Физика / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета – Т. 1. – 26-29 апреля 2022 г. - С. 101-103.

3. Кокорина А. И. Определение параметров электродугового синтеза карбида вольфрама WC из вольфрамового концентрата руды в открытой воздушной среде // Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения: сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции. – Томск. – 17-21 Октября 2022 г. – С. 190-192.

4. Кокорина А. И. Определение параметров электродугового синтеза карбида вольфрама из вольфрамового концентрата руды // Наука. технологии. инновации: XVI Всероссийская научная конференция молодых ученых: сборник научных трудов в 11 ч. – Новосибирск. – 5-8 Декабря 2022. – Т. 3 – С. 122-125.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Influence of CH₄ partial pressure on the microstructure of sputter-deposited tungsten carbide thin films / K. Abdelouahdi, C. Sant, F. Miserque [et al.] // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2006. Vol. 18, No. 6. – P. 1913-1925.
2. Raekelboom E. Structural investigation by the Rietveld method of sputtered tungsten carbide thin films / E. Raekelboom, K. Abdelouahdi, C. Legrand-Buscema // *Thin Solid Films*. – Vol. 517, No. 5., – P. 1555 – 1558.
3. High temperature thermophysical properties of spark plasma sintered tungsten carbide / H. Tripathy, C. Sudha, V. Thomas Paul [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2022. – Vol. 104. – P. 105804.
4. Wear properties of carbon-rich tungsten carbide films / L. Haus, M. Wildfeuer, J.-E. Grochowski [et al.] // *Wear*. – 2022. – Vol. 488–489. – P. 204146.
5. Substrate heating and post-annealing effect on tungsten/tungsten carbide bilayers grown by non-reactive DC magnetron sputtering / L.C. Agudelo-Morimitsu, J. De La Roche, D. Escobar [et al.] // *Ceramics International*. – 2013. – Vol. 39, No. 7. – P. 7355–7365.
6. Hardness and morphological characterization of tungsten carbide thin films / G. Zmbrano, P. Prieto, F. Perez [et al.] // *Surface and Coatings Technology*. – 1998. – Vol. 108–109. – P. 323–327.
7. Chitra V. Determination of specific wear rate of steel coated with tungsten carbide using Taguchi technique for textile applications / V. Chitra, S. Ramachandran, V. Anandaraj // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 47. – P. 4558–4561.
8. Zhang H. Effects of sputtering condition on tribological properties of tungsten coatings / H. Zhang, D.Y. Li // *Wear*. – 2003. – Vol. 255, No. 7–12. – P. 924–932.
9. Khechba M. Study of structural and mechanical properties of tungsten carbides coatings / M. Khechba, F. Hanini, R. Halimi // *Nature & Technology*. – 2011. – P. 9–11.

10. Application of Additive Manufactured Tungsten Carbide Tool Electrodes in EDM / E. Uhlmann, A. Bergmann, R. Bolz [et al.] // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 68. – P. 86–90.
11. Levy R.B. Platinum-like behavior of tungsten carbide in surface catalysis / R.B. Levy, M. Boudart // *Science*. – 1973. – Vol. 181, No. 4099. – P. 547–549.
12. Structural tuning and catalysis of tungsten carbides for the regioselective cleavage of C–O bonds / H. Fang, A. Roldan, Ch. Tian [et al.] // *Journal of Catalysis*. – 2019. – Vol. 369. – P. 283–295.
13. Facile synthesis of tungsten carbide nanorods and its application as counter electrode in dye sensitized solar cells / P. Vijayakumar, M. Senthil Pandian, S.P. Lim [et al.] // *Materials Science in Semiconductor Processing*. – 2015. – Vol. 39. – P. 292–299.
14. Role of tungsten carbide (WC) and its hybrids in electrochemical water splitting application - A comprehensive review / U. Sohail, E. Pervaiz, M. Ali [et al.] // *FlatChem*. 2022. Vol. 35. P. 100404.
15. Cage-Confinement Pyrolysis Route to Ultrasmall Tungsten Carbide Nanoparticles for Efficient Electrocatalytic Hydrogen Evolution / Y.T. Xu, X. Xiao, Z.M. Ye [et al.] // *American Chemical Society*. – 2017. – Vol. 139. – P. 5285 – 5288.
16. Interfacial electronic coupling of ultrathin transition-metal hydroxide nanosheets with layered MXenes as a new prototype for platinum-like hydrogen evolution / L. Li, D. Yu, P. Li [et al.] // *Energy & Environmental Science*. – 2021. – Vol. 14, No. 12. – P. 6419-6427.
17. High activity PtPd-WC/C electrocatalyst for hydrogen evolution reaction / M. Wu, P.K. Shen, Z. Wei [et al.] // *Journal of Power Sources*. – 2007. – Vol. 166, No. 2. – P. 310–316.
18. Nanocrystalline tungsten carbide (WC) synthesis/characterization and its possible application as a PEM fuel cell catalyst support / W. Zhu, A. Ignaszak, Ch. Song [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2012. – Vol. 61. – P. 198–206.

19. Pt-WC/C as a cathode electrocatalyst for hydrogen production by methanol electrolysis / Z. Hu, M. Wu, Z. Wei // *Journal of Power Sources*. – 2007. – Vol. 166, No. 2. – P. 458–461.
20. Preparation and performance of nanosized tungsten carbides for electrocatalysis / P.K. Shen, Sh. Yin, Z. Li [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2010. – Vol. 55, No. 27. – P. 7969–7974.
21. Hu F.P. Ethanol oxidation on hexagonal tungsten carbide single nanocrystal-supported Pd electrocatalyst / F.P. Hu, P.K. Shen // *Journal of Power Sources*. – 2007. – Vol. 173, No. 2. – P. 877–881.
22. Fabrication and mechanical properties of tungsten carbide thin films via mist chemical vapor deposition / T. Ikenoue, T. Yoshida, M. Miyake [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2020. – Vol. 829. – P. 154567.
23. Characterization and properties of tungsten carbide coatings fabricated by SPS technique / Y. Jiang, J.F. Yang, Z. Zhuang [et al.] // *Journal of Nuclear Materials*. – 2013. – Vol. 433, No. 1–3. – P. 449–454.
24. Fabrication of ultrafine and high-purity tungsten carbide powders via a carbothermic reduction–carburization process / K.F. Wang, G.D. Sun, Y.D. Wu [et al.] // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2019. – Vol. 784. – P. 362–369.
25. Zhang F.L. Nanostructured WC/Co composite powder prepared by high energy ball milling / F.L. Zhang, C.Y. Wang, M. Zhu // *Scripta Materialia*. – 2003. – Vol. 49, No. 11. – P. 1123–1128.
26. Formation of nanoscale carbon structures in the surface layer of metals under the impact of high intensity ion beam / G.E. Remnev, V.V. Uglov, V.I. Shymanski [et al.] // *Applied Surface Science*. – 2014. – Vol. 310. – P. 204–209.
27. Synthesis of tungsten carbide from bimodal tungsten powder produced by electrical explosion of wire / A.V. Pervikov, M.G. Krinitcyn, E.A. Glazkova [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2022. – Vol. 103. – P. 105733.

28. Tungsten extractive metallurgy: A review of processes and their challenges for sustainability / L. Shen, X. Li, D. Lindberg [et al.] // Minerals Engineering. – 2019. – Vol. 142. – P. 105934.
29. Yang X. Beneficiation studies of tungsten ores – A review // Minerals Engineering. – 2018. – Vol. 125. – P. 111–119.
30. Singh H. Single step synthesis of tungsten carbide (WC) nanoparticles from scheelite ore / H. Singh, O.P. Pandey // Ceramics International. – 2013. – Vol. 39, No. 6. – P. 6703–6706.
31. Kuz'michev E.N. Preparation of Tungsten Carbide from Scheelite Concentrate using Concentrated Energy Fluxes / E.N. Kuz'michev, S. V. Nikolenko, D.I. Balakhonov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 52, No. 4. – P. 619–623.
32. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge / A.Y. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov [et al.] // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 93. – P. 105343.
33. Glass waste derived silicon carbide synthesis via direct current atmospheric arc plasma / Ya. A. Pak, Zh. Bolatova, D.S. Nikitin [et al.] // Waste Management. – 2022. – Vol. 144. – P. 263–271.
34. Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge / Y. Su, H. Wei, T. Li [et al.] // Materials Research Bulletin. – 2014. – Vol. 50. – P. 23–25.
35. Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere / A.J. Berkmans, J. Ma, R.D. Reddy [et al.] // Diamond & Related Materials. – 2015. – Vol. 55. – P. 12–15.
36. Тот Л. Карбиды и нитриды переходных металлов / Л. Тот – Мир, 1974. – 260 с.
37. Углеродные материалы семейства сибунит и некоторые методы регулирования их свойств / Г. В. Плаксин, О. Н. Бакланова, А. В. Лавренов [и др.]. // Химия твердого топлива. – 2014. – № 6. – С. 26 – 32.

38. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)

39. ГОСТ 12.2.032–78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

40. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: дата введения 1992-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

41. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения): дата утверждения 2003-09-04. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044235> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

42. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

43. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: дата введения 2019-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

44. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: дата введения 2021-01-28. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

45. ГОСТ 12.1.003–2014. ССБТ Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2015-11-01. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

46. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003: дата введения 2011-05-20. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

47. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация: дата введения 1981-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

48. ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия: дата введения 1984 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200067276> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

49. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: дата введения 2005-11-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

50. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: дата введения 1989-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

51. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест: дата введения 2001-05-17. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901787814> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

52. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон N 89-ФЗ: [принят Государственной думой 22 мая 1998 года].

53. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон N 123-ФЗ: [принят Государственной думой 22 июля 2008 года].

54. ПУЭ: правила устройства электроустановок. Сибирское университетское издательство, 2011. – 464 с.

55. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : (N 903н) : официальное издание : утверждены приказом Минтруда России от 15.12.2020 : введены в действие 01.01.2021. – Москва. – 133 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

56. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : (СП 12.13130.2009) : официальное издание : утвержден Приказом МЧС России от 25.03.2009 N 182 : введен в действие 25.03.2009. – Москва. – 31 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

57. Российская Федерация. Законы. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление № 2398 : [утверждено Правительством Российской Федерации 31.12.2020]. – Москва. – 11 с.

58. Кузьмина, Е. А. Кузьмин А. М. Методы поиска новых идей и решений / Е. А. Кузьмина, А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2003. – №1.

59. Кузьмина, Е. А. Кузьмин А. М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю / Е. А. Кузьмина, А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2001. – №7.

60. Карпунин, М.Г. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / М.Г. Карпунин, Б.И. Майданчик. – Москва: Энергия, 1980. – 175

Приложение А

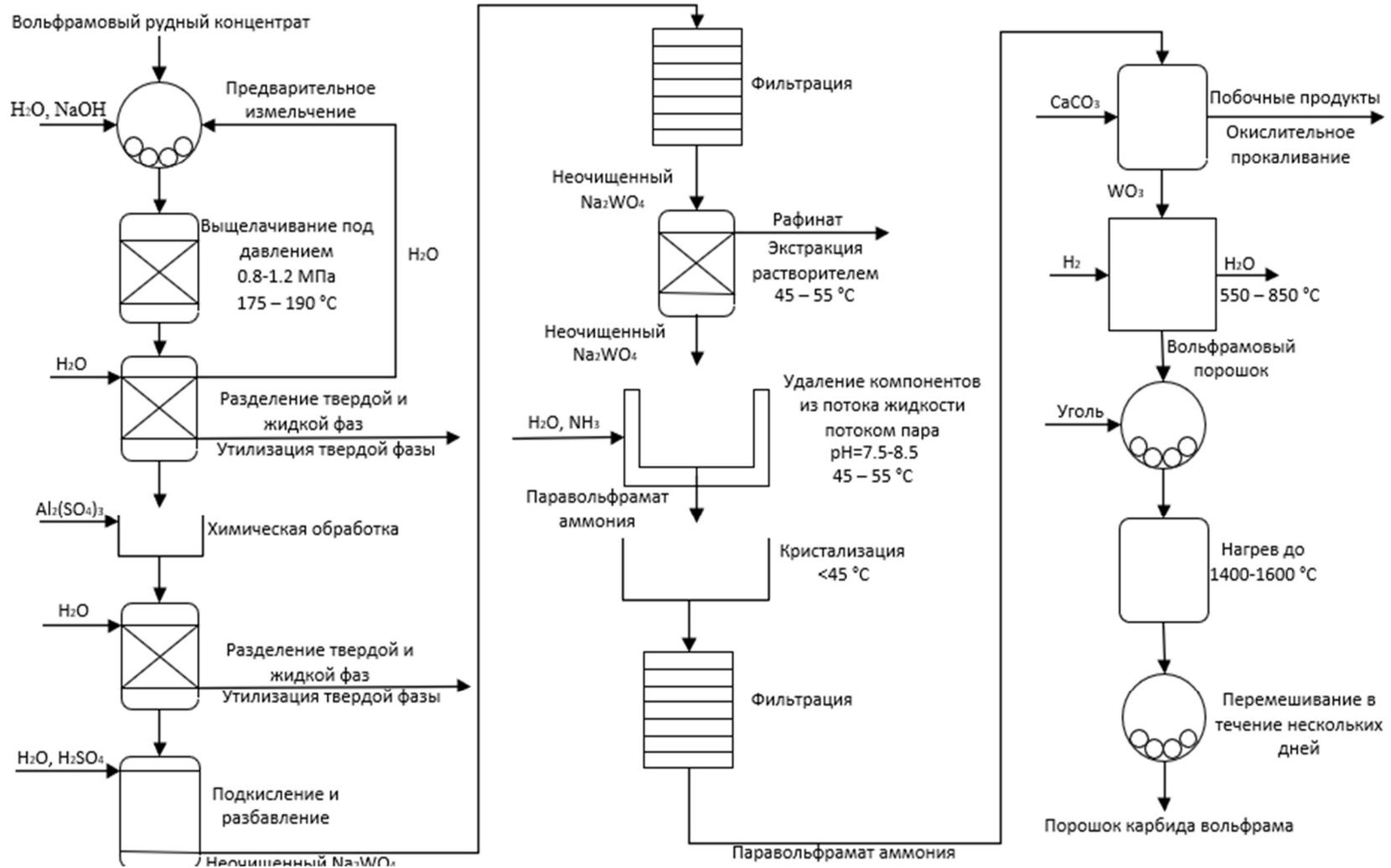


Рисунок А.1 – Схема традиционного метода получения карбида вольфрама из руды