

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

Школа Ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02. «Ядерные физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерного топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса вскрытия руд при воздействии высоковольтного импульсного разряда

УДК 537.52.622.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Роздольский Виталий Германович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник ИТЦ СФТИ НИ ТГУ.	С.А. Сосновский	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ НИ ТПУ	В.Ф. Мышкин	д.ф.-м.н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные компетенции		
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (Ук1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК-6, 19-23).
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).
Общепрофессиональные		
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14,).
Профессиональные компетенции		
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе,	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).

	соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).	
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.	Требования ФГОС (УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

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

Школа Ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02. «Ядерные физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерного топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ П.Н. Бычков
« ___ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Роздольский Виталий Германович

Тема работы:

Исследование процесса вскрытия руд при воздействии высоковольтного импульсного разряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1508/с от 6.03.2018 г.
Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать активацию раствора выщелачивания урансодержащей руды на примере агитационной обработки модельного раствора сернокислого железа (МРСЖ) с применением поверхностного высоковольтного искрового импульсного (ПВИИ) разряда. Задачи: провести обзор и анализ применяемых способов выщелачивания руд; изучить возможные технологические схемы реализации процесса и методы активации выщелачивающих растворов; провести химическое моделирование и термодинамические расчёты; разработать технологическую схему процесса; собрать и запустить в работу генератор высоковольтных импульсов; собрать стенд для изучения процесса агитационной активации растворов выщелачивания с применением ПВИИ разряда; исследовать зависимости концентрации Fe^{3+} и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) МРСЖ от времени обработки.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1) аналитический обзор современных технологий активации растворов выщелачивания; 2) химическое и термодинамическое моделирование процессов в канале воздушного ПВИИ разряда, на поверхности и внутри МРСЖ. Рекомендовать оптимальные параметры воздушного ПВИИ разряда. Определить составы химических соединений, обеспечивающих энергоэффективную активационную обработку раствора выщелачивания; 3) экспериментальное подтверждение рекомендованных условий для разрабатываемого процесса агитационной активации МРСЖ с применением воздушного ПВИИ разряда; 4) экономическое обоснование проведения НИР; 5) выводы по работе. Заключение.
Перечень графического материала	1. Равновесный состав газообразных продуктов плазменной обработки в воздушной плазме ПВИИ разряда при различном давлении. 2. Принципиальная схема плазмохимического стенда (ПХС) переработки МРСЖ при воздействии ПВИИ разряда. 3. Схема ПХС агитационного выщелачивания при воздействии ПВИИ разряда. 4. Принципиальная электрическая схема магнитотристорного высоковольтного импульсного генератора. 5. Экспериментальные графики. 6. Презентация Power Point Presentation

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	старший научный сотрудник ИТЦ СФТИ НИ ТГУ. С.А. Сосновский
Основы термодинамического моделирования в газовой фазе; Анализ физико-химических процессов в газовой среде путем термодинамического моделирования	профессор ОЯТЦ ИЯТШ В.Ф. Мышкин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Н.В. Черепанова
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	6.02.2018 г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник ИТЦ СФТИ НИ ТГУ.	С.А. Сосновский	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Роздольский Виталий Германович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Роздольский Виталий Германович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Техническая 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>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НИИ</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Бюджет научно-технического исследования (НИИ)</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Роздольский Виталий Германович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Роздольский Виталий Германович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Техническая физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p>	<p>вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, вредные вещества);</p> <p>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</p>	<p>– электробезопасность;</p> <p>– пожаровзрывобезопасность;</p> <p>– химические вредные вещества;</p> <p>– требования охраны труда при работе на ПЭВМ. Эксплуатации плазменной установки</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<p>– действие фактора на организм человека;</p> <p>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</p>	<p>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</p> <p>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Роздольский Виталий Германович		

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	11
РЕФЕРАТ.....	12
ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Общие сведения о выщелачивании.....	15
1.2 Кислотное выщелачивание.....	17
1.3 Применение озонирования для интенсификации процессов выщелачивания.....	18
1.4 Химические методы активации гидрометаллургических Процессов.....	18
1.5 Физические и энергетические методы активации.....	19
1.6 Электрофизические методы активации.....	20
1.7 Магнитно-импульсная обработка.....	20
1.8 Электрохимическая обработка.....	20
1.9 Применение электрической энергии в гидрометаллургических процессах.....	21
1.10 Активация химических процессов электрическими разрядами.....	22
1.10.1 Разряды в жидкой фазе и газовый разряд.....	22
1.10.2 Разряды при пониженном, атмосферном и повышенном давлении.....	23
1.10.3 Объемные разряды и разряды канального типа.....	23
1.10.4 Искровой разряд.....	24
1.10.5 Разряд в двухфазной среде.....	25
1.10.6 Особенности электроразрядной обработки сред с повышенным содержанием примесных ионов.....	27
1.11 Сернокислое выщелачивание.....	30
1.11.1 Методы обработки сернокислых растворов выщелачивания.....	31
2 Расчет физико-химических процессов при обработке растворов выщелачивания в условиях воздействия плазмы.....	32

2.1 Основы термодинамического моделирования в газовой фазе.....	32
2.2 Анализ физико-химических процессов в газовой среде путем термодинамического моделирования.....	37
3 Химическое моделирование.....	40
4 Экспериментальная часть.....	41
4.1 Описание схемы переработки МРСЖ при воздействии ПВИИ разряда.....	42
4.2 Описание плазмохимического стенда.....	43
4.3 Источник импульсного напряжения.....	44
5. Экспериментальное исследование процесса воздушной ПВИИ разрядной обработки МРСЖ.....	46
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...50	
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
6.2 SWOT-анализ.....	51
6.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	54
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	54
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	55
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	56
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	60
6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	60
6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	61
6.4.3 Зарботная плата исполнителей темы.....	61
6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)....	63
6.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	63
6.4.6 Контрагентные расходы.....	64
6.4.7 Накладные расходы.....	64
6.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	64
6.5 Выводы.....	65

7. Социальная ответственность.....	66
7.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе в лаборатории.....	66
7.2. Требования к ПЭВМ и организация работы.....	68
7.2.1. Организационные мероприятия.....	68
7.2.2. Организация рабочего места ПЭВМ.....	68
7.2.3. Условия безопасной работы.....	70
7.3. Электробезопасность.....	72
7.4. Пожарная и взрывная безопасность.....	75
Выводы.....	77
Список используемых источников.....	78

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПВИИ - поверхностный высоковольтный искровой импульсный;

ОВП - окислительно-восстановительный потенциал;

ПХС - плазмохимический стенд;

МРСЖ - модельный раствор сернокислого железа

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 81 страницы, 12 рисунков, 12 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: высоковольтный искровой импульсный разряд, плазма, термодинамические расчёты, химические расчёты, вскрытие руды, сернокислое железо, высоковольтный искровой импульсный генератор, водно-солевой раствор, лабораторный агитационный реактор, обработка.

Объектом исследования является процесс агитационной обработки модельного раствора сернокислого железа (МРСЖ) в условиях воздействия воздушного поверхностного высоковольтного искрового импульсного (ПВИИ) разряда.

Целью работы - является разработка процесса жидкофазного вскрытия руд при воздействии поверхностного высоковольтного искрового импульсного (ПВИИ) разряда.

В процессе исследования проведено термодинамическое и химическое моделирование процесса агитационной обработки МРСЖ в условиях воздействия воздушного ПВИИ разряда и на МРСЖ проведено исследование зависимости концентрации $[Fe^{3+}]$ и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) от времени обработки в воздушном ПВИИ разряде.

В результате исследования определены оптимальное давление внутри агитационного реактора, температура в канале воздушного ПВИИ разряда, компонентный состав плазмы воздушного ПВИИ разряда и предложены оптимальные режимы для практической реализации исследуемого процесса в воздушном ПВИИ разряде. Определены составы химических соединений, обеспечивающие энергоэффективную активационную обработку растворов выщелачивания

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании энергоэффективной плазменной технологии активации растворов выщелачивания в процессах вскрытия руд.

В будущем планируется продолжить исследования по разработке практических основ жидкофазного процесса вскрытия руд при воздействии ПВИИ разряда, созданию и совершенствованию установок на основе ПВИИ разряда для промышленного применения.

ВВЕДЕНИЕ

Металлургическая промышленность является одной из основных национальных отраслей, которая вносит значительный вклад в обеспечение экономического роста страны.

Извлечение редких, цветных и благородных металлов из руды производится гидрометаллургическим методом с использованием водносолевых растворов. При этом использование традиционных методов (выщелачивание, тонкое механическое измельчение руды и другие) для вскрытия руд связано с высокими эксплуатационными и капитальными затратами. Поэтому усилия разработчиков направлены на создание новых методов вскрытия руд для повышения эффективности и сокращения времени гидрометаллургических процессов.

Высокоэффективное вскрытие руд в жидкой среде может быть проведено с использованием электрического разряда в двухфазной среде "газ - жидкость".

Поэтому актуальны исследования, связанные с интенсификацией физико-химических процессов сопровождающих процессы получения редких, цветных и благородных металлов из руды, а так же низкого содержания урана на российских месторождениях (от 0,072 до 0,146%).

Целью работы - является разработка процесса жидкофазного вскрытия руд при воздействии поверхностного высоковольтного искрового импульсного (ПВИИ) разряда.

Задачи:

1. провести термодинамический расчет газовой среды;
2. разработать технологическую схему процесса жидкофазного вскрытия руд при воздействии ПВИИ разряда;
3. собрать лабораторную установку и провести исследование зависимости $[\text{Fe}^{3+}]$ и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в модельном растворе от времени обработки ПВИИ разряда;
4. провести анализ полученных результатов.

1 Обзор литературы

1.1 Общие сведения о выщелачивании

Гидрометаллургические процессы представляют собой извлечение металлов из вмещающей руды под действием водных растворов. На сегодняшний день добыча цветных, благородных и редких металлов производится практически исключительно гидрометаллургическими методами. При этом, основной операцией является выщелачивание, заключающееся в переводе металла из руды в выщелачивающий раствор [1].

Выщелачивание в большой степени определяет технологические и экономические показатели передела в целом. Стоимость выщелачивания варьируется в диапазоне 35 - 40% от стоимости всего гидрометаллургического передела, а при обработке бедных руд может быть гораздо выше [2].

Скорость и полнота выщелачивания зависит от типа минерала, которым он представлен, концентрации выщелачивающего агента и внешних условий (давления и температуры). Все минералы можно разделить на два типа, вторичные и первичные.

Вторичные минералы являются легкоосквашиваемыми и обладают низкой твердостью и малой химической прочностью. Такие минералы легко растворяются в растворах слабых кислот без применения дополнительных операций.

Первичные минералы представляют собой трудноосквашиваемые химические соединения, они обладают высокой твердостью и химической устойчивостью. Первичные минералы осквашиваются концентрированными растворами кислот и зачастую требуют дополнительных операций для вскрытия (добавки сильных окислителей, окислительных обжиг, кислотный замес). [3]

Богатые и обедненные руды в основном добываются открытым способом, т.е. производится выемка руды на поверхность, где уже осуществляется агитационное выщелачивание [1].

Для бедных и забалансовых руд применяются методы перколяционного выщелачивания: подземное или кучное, (открытая добыча таких типов руд нерентабельна). При подземном выщелачивании раствор закачивается через скважины в пласт. После прохождения через массив руды раствор откачивается и подается на извлечение. Такой метод добычи отличается низкими затратами на извлечение (удельные капитальные затраты в 2 - 4 раза ниже по сравнению с переработкой руды на гидрометаллургических заводах) и большим временем выщелачивания (несколько месяцев) [1,3].

Кучное выщелачивание заключается в формировании штабеля руды на непроницаемой подложке. Сформированный штабель орошается сверху выщелачивающим раствором. При просачивании через толщу руды растворы обогащаются и поступают на следующий передел. Кучное выщелачивание отличается большим временем извлечения (от нескольких месяцев до нескольких лет). Капитальные затраты при КВ составляют 25%, а эксплуатационные 40% от затрат при извлечении традиционным способом [6].

Наиболее распространенным агентом выщелачивания является серная кислота (H_2SO_4) вследствие своей малой летучести, дешевизны и способности достаточно эффективно вскрывать минералы. Однако при большом количестве карбонатных соединений большая часть количества кислоты расходуется не на растворение, а на реакцию с карбонатами, что приводит к высокому перерасходу кислоты и увеличению себестоимости продукта. Для переработки карбонатных руд применяются содовые растворы выщелачивания. В России наиболее распространенный метод получило кислотное выщелачивание.[3]

1.2 Кислотное выщелачивание

При кислотном выщелачивании наиболее трудноскрываемые пегматитовые руды, содержащие титанаты и титанотанталониобаты. Для их вскрытия требуется применение концентрированных растворов кислот, а также дополнительных окислителей. Например уранинит и настуран вскрываются кислотными растворами средней концентрации с окислителем. Вторичные минералы фосфатной, ванадиевой, карбонатной групп легко вскрываются разбавленными растворами кислот без окислителя.

Применение добавок в виде окислителей (азотная кислота, кислород, хлорат натрия, ионы трехвалентного железа, и др.) сказывается на увеличении скорости выщелачивания и степени извлечения урана, таких как. Определение наиболее эффективного окислителя определяется с помощью термодинамических расчетов [7].

Для повышения окислительной активности растворов выщелачивания дополнительно может проводиться их продувка кислородом или кислородсодержащим газом, (воздухом). Данный метод широко применяется при подземном выщелачивании, когда в скважину вместе с раствором происходит подача воздуха [3]. По мимо этого, воздух применяется при агитационном выщелачивании для пневматического перемешивания пульпы. Кислород, содержащийся в воздухе является самым дешевым окислителем, однако его эффективность ограничена малым содержанием в воздухе (~22 % об.) и малой растворимостью в жидкой среде [7].

Для повышения скорости окисления железа кислородом или кислородсодержащим газом используют повышенное давление (350 - 950 кПа), в следствии этого увеличивается растворимость газа в растворе. Для увеличения скорости химической реакции процесс проводится при температуре 55 - 90 °С. Повышенное давление используется при автоклавном выщелачивании, позволяющем сократить сроки выщелачивания, снизить расход кислот и повысить степень извлечения. Так же автоклавный процесс позволяет проводить водное выщелачивание, в ходе которого образование

серной кислоты происходит при наличии большого количества свободной или сульфидной серы.

Так же эффективным окислителем, используемым, для повышения эффективности выщелачивания, является азотистая кислота или ее соли. Известно, что при совместном присутствии железа и нитрит-ионов окисление урана идет по каталитическому механизму (нитрит-ионы являются катализатором окисления железа, которое в свою очередь окисляет уран) [9].

1.3 Применение озонирования для интенсификации процессов выщелачивания

При серноокислом выщелачивании меди в лабораторных условиях применение озона позволяет извлечь до 95 - 98% металла. Требуемая концентрация озона в газовой фазе весьма высока и составляет порядка 150 г/м³. При этом достигается время выщелачивания сопоставимое со временем автоклавного выщелачивания. Также озон проявляет высокую реакционную способность в отношении четырехвалентного урана. Использование озонированного воздуха при окислении UO₂ демонстрирует наибольшую степень окисления урана (более 95%) по сравнению с другими окислителями, используемыми в промышленности (HNO₃, MnO₃, KClO₃, кислород) [7].

1.4 Химические методы активации гидрометаллургических процессов

Химические методы активации гидрометаллургических процессов могут использовать для окисления микроорганизмы (бактериальное выщелачивание или биовыщелачивание). Бактериальное выщелачивание заключается в добавлении в растворы выщелачивания групп бактерий (*Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans*), которые в процессе своей жизнедеятельности способны окислять присутствующие в руде ионы двухвалентного железа, сульфиды, серу и ее промежуточные соединения с образованием серной кислоты и сульфата трехвалентного

железа, что приводит к активации окислительных процессов. Данный вид выщелачивания нашел свое применение для извлечения таких металлов как золото, медь уран [4,5].

1.5 Физические и энергетические методы активации

К физическим методам относится механоактивация руды, основа которой заключающаяся в изменении физико-химических свойств минеральных веществ, вследствие воздействия на них интенсивных механических нагрузок. При этом за счет изменения структуры минералов, путем измельчения руды, так же изменяется и потенциальная энергия вещества, и увеличивается его химическая активности [8].

Так проводили совместное применение озона ($75 - 87 \text{ г/м}^3$), добавок ионов трехвалентного железа (10 г/л) и механоактивации (измельчение до размеров 20 мкм с достижением удельной поверхности $6 \text{ м}^2/\text{г}$) для выщелачивания меди. Выщелачивание проводилось в реакторе объемом 1 л . Показано, что применение механоактивации позволяет значительно эффективнее окислять сульфиды меди и производить ее более полное извлечение в раствор (с $87,4\%$ без механоактивации до $99,8\%$ с ее применением, при этом происходит снижение расхода озона в $1,7$ раза) [7].

Проводили механоактивацию труднорастворимых ураново-золотых руд Эльконского рудного поля. Для исследования брались пробы массой $100 - 300 \text{ г}$ и подвергались активации в планетарной центробежной мельнице ЛАИР-2. В результате активации рудного материала и его дальнейшего выщелачивания было достигнуто увеличение извлечения урана с 90 до 96% , золота с $21 - 26\%$ до $67 - 78\%$ [9].

1.6 Электрофизические методы активации

Электрофизические методы активации окислительных процессов заключаются в применении электрических, электромагнитных полей, электрического разряда либо источников высокоэнергетических электронов для обработки растворов, пульп или рудного материала без использования химических веществ.

Существует способ регенерации ионов трехвалентного железа в оборотных растворах выщелачивания путем их облучения потоком ускоренных электронов с энергией до 7 МэВ. Предлагаемый способ позволяет окислять значительные количества железа в растворе (до 20 г/л). Энергозатраты на обработку растворов в зависимости от содержания железа составляют от 45 до 350 кВт·ч/м³ раствора [24].

Известны методы окисления железа с использованием кавитационных явлений, возникающих при использовании ультразвука или специального устройства с большим количеством сопел.

1.7 Магнитно-импульсная обработка

Магнитно-импульсной обработки (МИО) рудного материала применяется для увеличения степени извлечения золота из руды. Однако для применения данного метода необходимо наличие в руде магнитных зерен (сульфидов, оксидов) или минералов-пьезоэлектриков (турмалина, кварца). Применение МИО приводит к образованию в минерале внутренней напряженности, что значительно снижает стоимость на измельчение руды и повышает степень извлечения ценных компонентов [10,11].

1.8 Электрохимическая обработка

Применяется электрохимическая обработка воды или пульп перед проведением флотационного обогащения рудного материала. Показана возможность снижения расхода реагентов до 50% и увеличения производительности процесса флотации в 1,3 раза. При этом возрастает

степень извлечения ценных компонентов на 1,5 - 5% при энергозатратах от 0,5 до 2 кВт·ч/м³ [13].

1.9 Применение электрической энергии в гидрометаллургических процессах

Применяется электрическое поле для интенсификации процессов сорбции цветных металлов из сточных вод. Воздействие электрического поля на смесь раствор-сорбент приводит к увеличению подвижности ионов сорбируемой примеси. При этом происходит увеличение сорбционной емкости сорбента и интенсивности процесса сорбции в целом. Экспериментальные исследования показали увеличение эффективности сорбции на 11,8% по сравнению с сорбцией без применения электрического поля [13].

Рассмотренные методы активации растворов выщелачивания представляют определенный интерес, но обладают рядом недостатков. Применение химических методов (пирролюзит, азотная и азотистая кислоты, кислород) требуют доставки, хранения и дозирования реагентов. Планируемое ужесточение законодательных актов в области охраны окружающей среды предусматривает увеличение коэффициентов за превышение установленных норм сброса загрязняющих веществ в 5 раз по сравнению с существующими нормами.

Бактериальное выщелачивание требует создания специальных условий для сохранения жизнеспособности колонии бактерий. Использование повышенного давления и температуры требует технически-сложного оборудования и повышенных мер безопасности.

Использование мельниц для механоактивации требует значительных эксплуатационных затрат, включающих износ шаров, футеровки и энергетические затраты.

Озонирование требует значительных энергетических затрат на генерацию высокой концентрации озона.

Применение высокоэнергетических электронов требует больших капитальных затрат на оборудование (ускоритель), а также на биологическую защиту персонала. Кроме того, для окисления приемлемых концентраций требуются значительные энергетические затраты.

В связи с этим требуется разработка новых эффективных методов активации окислительных процессов, обладающих малыми энергетическими затратами, не требующих сложного технологического оборудования и протекающих при условиях, незначительно отличающихся от стандартных.

1.10 Активация химических процессов электрическими разрядами

Перспективными методами активации химических процессов в жидкой и газовой фазе являются процессы на основе импульсных электрических разрядов.

Основными факторами воздействия электрического разряда на обрабатываемую среду являются активные радикалы, ионы, ион - радикалы и другие частицы, получаемые в результате ионизации, диссоциации и возбуждения составляющих среды, а также, в ряде случаев, кавитационные явления, ультрафиолетовое излучение и импульсное электрическое поле. Электрические разряды характеризуются большим разнообразием форм и проявлений. С точки зрения воздействия на жидкие среды целесообразно выделить несколько видов разрядов [14].

1.10.1 Разряды в жидкой фазе и газовый разряд

Разряд в жидкости оказывает воздействие на среду за счет образования активных химических веществ из составляющих жидкости, кавитационных явлений и ультрафиолетового излучения. Газовый разряд воздействует на жидкость в основном за счет образования активных частиц в газовой фазе, и последующего взаимодействия активных частиц с компонентами жидкости. Кроме того, в ряде случаев имеет место воздействие УФ-излучения [24].

1.10.2 Разряды при пониженном, атмосферном и повышенном давлении

При малых значениях $p \cdot d$ (p - давление, d - межэлектродное расстояние) выход продуктов разряда минимален. С другой стороны, создание повышенных или пониженных давлений представляет серьезное усложнение технологического процесса при обработке больших объемов раствора. Поэтому целесообразно рассмотреть разряды при давлениях порядка атмосферного [15].

1.10.3 Объемные разряды и разряды канального типа

С точки зрения генерируемых продуктов разряды при давлении порядка атмосферного целесообразно разделить на две основные группы. Объемные разряды, как правило, характеризуются высокой степенью неравновесности - температура электронов в таких разрядах существенно выше температуры «тяжелых» частиц (молекул, ионов). Температура электронов приблизительно равна 10^4 К, а их средняя энергия - 1 эВ; при этом температура тяжелых частиц незначительно отличается от комнатной температуры.

Степень равновесности плазмы может быть определена отношением E/p , т.е. напряженности электрического поля к давлению. При малом значении этого соотношения энергия электронов близка к энергии тяжелых частиц, достигается так называемое "локальное термодинамическое равновесие". Высокие значения E/p в разрядах объемного типа приводят к высоким энергиям электронов. При этом имеет место возбуждение, диссоциация и ионизация молекул среды электронным ударом с образованием химически-активных продуктов: радикалов и ион-радикалов, которые могут участвовать в различных химических реакциях. Характерными представителями таких разрядов являются барьерный и коронный газовые разряды [16].

«Термические» разряды формируются в виде одного или нескольких каналов с высокой проводимостью. При этом температуры частиц, входящих в состав плазмы разряда, приблизительно равны. Разряды канального типа, как

правило, отличаются высокой температурой газа в каналах разряда и незначительным отличием температуры электронов от температуры частиц окружающего газа. В этом случае говорят о равновесной плазме. Характерным представителем такого разряда является дуговой разряд. Формирование канала с высокой температурой и плотностью тока имеет также место в искровом разряде [18,21].

Таким образом, в качестве основных видов разряда, использующихся в технологических процессах при стандартных условиях, можно выделить коронный, барьерный, дуговой и искровой разряды.

1.10.4 Искровой разряд

Искровой разряд является самостоятельным разрядом, возникающим в неоднородных полях, и представляет собой контрагированный канал с высокой температурой газа, плотностью тока, концентрацией заряженных частиц и степенью ионизации. Температура в канале разряда может достигать 20000 К, а концентрация частиц 10^{17} см⁻³.

Технологическое применение искрового разряда в воздухе традиционно связано с иницированием эрозионных процессов при электроимпульсной обработке металлов, нанесения покрытий и модификации поверхностей. Искровые разряды применяются для иницирования плазмохимических реакций, например, получения ацетилена. Известны работы, посвященные получению в искровых разрядах монооксида азота NO, в частности, для лечения сосудистых и легочных заболеваний за счет расслабляющего действия монооксида азота на кровеносные сосуды, стерилизации ткани, в том числе человеческой, лечения гастроэнтерологических заболеваний [17].

1.10.5 Разряд в двухфазной среде

Под двухфазной средой понимают системы, в которых обрабатываемая жидкость контактирует с газовой фазой, содержащей активные частицы-продукты электрического разряда. Примерами такой обработки может служить разряд в жидкой среде, диспергированной на капли, разряд в пузырьках газа, находящихся в жидкости, а также разряд над поверхностью жидкости.

Основными продуктами электрического разряда в двухфазной среде являются, озон, активные формы кислорода (атомарный кислород, возбужденные молекулы), оксиды азота. При этом становится возможным образование и воздействие таких веществ как пероксид водорода H_2O_2 и короткоживущих радикалов ($\cdot OH$, $\cdot NO_2$).

Наиболее распространенным видом разряда, используемым для электроразрядной обработки двухфазных сред, являются объёмные разряды (коронный, барьерный), т.к. они позволяют активировать максимальный объём газовой фазы.

Были исследованы многоискровые разряды в пузырьках воздуха, подаваемых в межэлектродное пространство. Основными продуктами такого разряда являются озон, пероксид водорода и УФ-излучение в диапазоне длин волн от 190 до 430 нм, что может применяться для стерилизации и дезинфекции жидких сред. Средние энергозатраты на обработку воды таким способом составили $0,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ [24].

Было проведено использование электрического разряда над поверхностью воды для обработки сточных вод, содержащих органические красители: метиловый красный, бриллиантовый голубой и катионный красный. В результате эксперимента было установлено, что использование электрического разряда позволяет практически полностью обесцветить раствор (на 95%) за 4 - 6 минут обработки.

Примером может служить САW-реактор (Corona Above Water, коронный разряд над поверхностью воды) с целью удаления органических

примесей. В нём коронный разряд зажигался над поверхностью воды, содержащей примеси, и "аэрозольный" реактор, в котором коронный разряд зажигался в тонко распыленном водяном аэрозоле. Аэрозоль создавался с помощью распылителей, работающих под давлением от 2 до 6 бар. Максимальная концентрация генерируемого озона составила 4,41 г/м³ для САW-реактора и 7,84 г/м³ для аэрозольного реактора. Степень дезинфекции составила 99%. Степень конверсии фенола достигала 94% и 80%, а энергозатраты 48 и 33 г/кВт·ч для САW-реактора и аэрозольного реактора соответственно. Под действием окислителей фенол преобразуется в гидрохинон и резорцин, при более глубоком окислении имеет место разрушение ароматической структуры и образование более простых соединений - альдегидов, карбоновых кислот и пр. с последующей минерализацией этих веществ [21, 27].

Электроразрядная обработка применена для очистки воды от хлорорганических соединений совместно с биологической очисткой. На электроды подавалась вода в виде аэрозоля с диаметром частиц 10 - 100 мкм. Питание разряда осуществлялось от импульсного генератора. Амплитуда импульсов напряжения составляла 50 - 100 кВ, длительность фронта импульса - 100 нс. В качестве второй стадии обработки воды использовалась биологическая очистка. Исследовались возможности удаления из воды хлорорганических соединений, тяжело поддающихся биодegradации (2,4-дихлорфенол с концентрацией 1000 ррт (9 г/л). Органические примеси с меньшим, чем у воды коэффициентом поверхностного натяжения концентрируются у поверхности раздела фаз, подвергаясь воздействию разряда.

Электроразрядная обработка позволила уменьшить общее содержание хлора на 62% в течение 6 циклов обработки. Последующая биодegradация позволила удалить более 90% атомов хлора. Энергозатраты на обработку составили 150 - 200 эВ/моль для нитрофенола и 400 - 600 эВ/моль (8 - 10 г/кВт·ч) для дихлорфенола. Далее уменьшили габариты установки с использованием разрядной камеры, заполненной диэлектрическими таблетками, по которым вода стекала в виде тонких пленок и струй. По

данным, это позволило повысить интенсивность обработки воды вследствие локального усиления поля и, как следствие, увеличения интенсивности разрядных процессов, а также за счет адсорбции органических веществ на поверхности диэлектрика. Для различных органических веществ получена степень удаления 65 - 75% с энергозатратами 57-180 эВ/моль [25].

Таким образом, разряд в двухфазной среде "газ-жидкость" позволяет с высокой энергетической эффективностью генерировать активные частицы (короткоживущие радикалы, озон, атомарный кислород, азотсодержащие частицы), способные проводить окисление содержащихся в жидкости примесей различного состава.

Характеристики и продукты электрического разряда любого типа во многом зависят от количества носителей заряда в обрабатываемой среде. При газовом разряде количество носителей заряда изменяется при изменении давления газа: чем больше давление, тем больше концентрация носителей заряда, и тем больший ток может протекать при зажигании разряда. При обработке жидких или двухфазных сред "газ-жидкость" роль носителей заряда также могут играть и ионы примесей, присутствующие в жидкости. Концентрация этих ионов и их подвижность будут определять электрическую проводимость жидкости, поэтому характеристики разряда также могут значительно зависеть от этого параметра.

1.10.6 Особенности электроразрядной обработки сред с повышенным содержанием примесных ионов

Электрическая проводимость растворов может быть подразделена на три вида: ионная, катафоретическая и электронная проводимость. Ионная проводимость обусловлена перемещением ионов, образованных вследствие диссоциации молекул жидкости или примесей. Катафоретическая проводимость вызывается перемещением макроскопических заряженных частиц в жидкости (например, коллоидных частиц). Электронная проводимость обусловлена перемещением электронов, возникающих в

жидкости вследствие эмиссии с поверхности электрода и ионизационных процессов.

Электропроводность воды в основном определяется ионной проводимостью вследствие отсутствия, в случае дистиллированной воды, коллоидных примесей и "прилипания" электронов к молекулам воды. Таким образом, в воде проводимость будет определяться количеством ионов (концентрацией примесных ионов), их подвижностью и зарядом [26].

Проводили исследования электрического разряда в растворах с проводимостью от 5 до 1000 мкСм/см и ее влияние на параметры разряда и генерацию активных частиц (H , O , $\cdot OH$). Исследования проводились с использованием коронного разряда в воде. Как было установлено, электрическая проводимость раствора значительно сказывается на напряжении зажигания разряда и рассеиваемой в нем мощности, а также на образовании активных частиц-окислителей. Увеличение электрической проводимости раствора приводит к снижению эффективности образования $\cdot OH$ радикалов и молекул пероксида водорода (H_2O_2), а также увеличению амплитуды тока разряда и рассеиваемой мощности в разряде.

Проводили исследования многоканального разряда в растворах с различной электрической проводимостью. Многоканальность разряда достигалась путем нанесения на высоковольтный электрод пористого керамического материала. В результате визуальных наблюдений было установлено, что с увеличением электропроводности уменьшается длина отдельных разрядных каналов и увеличивается их интенсивность. Повышение проводимости приводит к увеличению количества носителей заряда в растворе, за счет чего уменьшается сопротивление среды, увеличивается амплитуда разрядного тока и увеличивается скорость компенсации заряда в головке канала [14,18].

Проводили исследования влияния электрической проводимости раствора на характер горения разряда и эффективность его воздействия на содержащиеся в растворе примеси. Исследовали разложение кислотного

фуксина, являющегося биологически неразлагаемым красителем, под действием электрического разряда. Начальная концентрация фуксина составляла 50 мг/л. Было установлено, что с увеличением электропроводности разряд трансформируется из искрового в коронный. При этом степень разложения зависела от типа разряда. Время обработки составляло 30 минут. Наибольшая степень разложения (97,8%) была достигнута в искровом разряде, в то время как в коронный разряд позволяет разложить только 48,6% модельной примеси. Авторы работы объясняют высокую эффективность искрового разряда его вдвое большей производительностью по гидроксильным радикалам $\cdot\text{OH}$ по сравнению с коронным разрядом [22].

Согласно вышеприведенным данным электрическая проводимость растворов оказывает значительное влияние на характеристики разряда и химические процессы, протекающие в жидкой среде. Изучение этой зависимости является актуальной задачей при исследовании обработки технологических растворов, электрическая проводимость которых может составлять единицы или десятки мСм/см (электрическая проводимость водопроводной воды в среднем составляет 0,5 мСм/см) .

Одним из перспективных методов активации окислительно-восстановительных процессов в жидкости является обработка импульсными электрическими разрядами. Метод электроразрядной обработки успешно применен для очистки воды и газов от органических примесей и тяжелых металлов [18]

Электрические разряды, применяемые для обработки жидких сред, целесообразно разделить на «нетермические» разряды объемного типа и «термические» искровые и дуговые разряды. Разряды объемного типа характеризуются относительно высокой энергией электронов, низкой температурой газа и малой плотностью заряженных частиц и радикалов в каналах разряда. «Термические» искровой и дуговой разряды позволяют инициировать высокотемпературные реакции, обладают высокой плотностью

заряженных частиц и радикалов в каналах разряда, приводят к генерации оксидов азота, и других активных частиц [19].

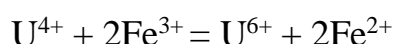
Из анализа данных научных статей можно сделать следующие выводы. В технологиях гидрометаллургии значительные усилия направлены на разработку методов активации процессов извлечения металлов, позволяющих снизить либо исключить использование химических реагентов. Указанные методы включают генерацию химических реагентов непосредственно на месте использования: применение в качестве окислителя кислорода воздуха, осуществление реакций в условиях высокой температуры и повышенного давления, применение механического воздействия, обработки электронными пучками.

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных использованию электрических разрядов для очистки воды, практически отсутствуют работы, в которых рассматривалось бы применение электрического разряда для активации технологических растворов выщелачивания.

1.11 Серноокислородное выщелачивание

На сегодняшний день атомные электростанции являются основными источниками электроэнергии в России: доля вырабатываемой электроэнергии составляет около 65%.

Серноокислородное выщелачивание является основным процессом при извлечении урана, в процессе которого твердый уран переходит в раствор. В минералах уран встречается преимущественно в U^{4+} и U^{6+} формах. Так как U^{4+} является нерастворимой формой, то для его извлечения требуется применение окислителей, в качестве которого преимущественно выступает сопутствующее ему Fe^{3+} , в процессе выщелачивания восстанавливаемое в Fe^{2+} в соответствии с реакцией:



При накоплении в растворе ионов Fe^{2+} процесс замедляется. Для регенерации Fe^{3+} требуется применение окислителей, в качестве которых традиционно применяются кислород, азотистая и азотная кислоты и соединения марганца (пирролюзит). Такая технологическая схема повышает стоимость конечного продукта за счет стоимости химических веществ и эксплуатационных расходов (доставки, хранения и дозирования химических веществ) [5].

1.11.2 Методы обработки сернокислых растворов выщелачивания

Применение традиционных окислительных методов требует дополнительных расходов на доставку, хранение и дозирования химических реагентов. Однако, путем применения физических и электрофизических методов (озонирования, воздействия ультразвуком, облучения раствора пучком ускоренных электронов,) позволяет избежать использования реагентов. Однако известные «безреагентные» методы имеют высокие капитальными и эксплуатационными затратами из-за необходимости использования дорогостоящего оборудования и организации сложного технологического процесса [12].

Одним из перспективных направлений окислительно-восстановительных процессов в жидких и газовых средах является применение импульсных электрических разрядов.

2 Расчет физико-химических процессов при обработке растворов выщелачивания в условиях воздействия плазмы

2.1 Основы термодинамического моделирования в газовой фазе

Рассмотрение кинетических и тепло-массообменных процессов при повышенных температурах, как правило, уже на этапе постановки задачи моделирования приводит к значительным трудностям. В расчетных схемах они обычно связаны с математическими сложностями и отсутствием необходимых связующих данных. В связи с этим большую актуальность

приобрели термодинамические методы моделирования. Они предполагают, что рабочее тело в рассматриваемых процессах образует условную замкнутую, изолированную систему, в которой установилось локальное фазовое и химическое равновесие. В таком приближении состояние системы определяется лишь содержанием в ней химических элементов и значением двух параметров состояния [4].

Для определения термодинамических свойств процесса, проходящего в условиях низкотемпературной плазмы требуется подробный термодинамический анализ, который позволяет наиболее полно учесть перечень образующихся в исследуемой системе химических соединений. Кроме того, необходимо учесть, что детальный термодинамический анализ сложных термодинамических систем с целью определения зависимости их равновесного состава от параметров состояния и исходного состава, возможен только с помощью ЭВМ.

Разработка новой технологической схемы процесса с применением плазмохимических методов, проектирование для него нового технологического оборудования требуют предварительных оценок характеристик этого процесса (тип плазменного теплоносителя, оптимальные рабочая температура, удельные энергозатраты). Такие оценки могут быть получены на основе термодинамических расчетов.

К настоящему времени разработано несколько методов и алгоритмов термодинамических расчетов характеристик равновесия, а также компонентного и фазового состава систем с произвольным содержанием химических элементов. В общем случае газовая фаза состоит из нейтральных атомов и молекул, ионов обоих знаков и электронов и подчиняется уравнению состояния. Конденсированная фаза состоит из чистых несмешивающихся фаз или компонентов конденсированных растворов.

Методы определения равновесного состава основаны на том, что энтропия S такой системы равна сумме энтропией составляющих её частей и является функцией температуры, давления и концентрации компонентов. Для

замкнутой системы $S = \max$ и задача определения характеристик равновесия сводится к нахождению условного экстремума энтропии, где определяющими будут термодинамические параметры и состав фаз.

Методы определения равновесного состава можно разделить на две группы: первичные и вторичные

К первичным относятся методы, основанные на использовании закона действующих масс,

Ко вторичной относятся методы, основанные на прямом использовании вариационных принципов термодинамики. Основное различие в математическом аппарате, но при правильном применении дают аналогичные результаты.

Предпочтение отдается методам, основанным на прямом использовании вариационных принципов термодинамики, из-за простоты первичных физических предпосылок, строгости вывода и создания расчетного алгоритма. Наибольшее распространение из них получил метод определения равновесного состава, основанный на применении 2-го вариационного принципа термодинамики. В процессе решения определяется равновесный выход чистых конденсированных веществ, не прибегая к перебору возможных состояний, чтобы удовлетворить правилу фаз Гиббса.

Второй вариационный принцип химической термодинамики формулируется так: равновесным значениям числа молей компонентов M_i и M_i' соответствуют те же из допустимых значений энергии U_j , которые дают максимальный вклад отдельных атомов в систему. Для равновесия системы справедливо равенство:

$$\sum_{j=1}^m [\Delta L_j] U_j = \sum_{i=1}^k M_i \cdot \left(\Phi_{ni}^o + R \cdot T \cdot \ln \frac{M_i \cdot R \cdot T}{V} \right) + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Phi_{ni'}^o \quad (1)$$

где, $[\Delta L_j]$ - число молей j -го элемента в единице массы системы;

k и l - число газообразных и конденсированных компонентов;

m - число химических элементов в системе;

$M_i, M_{i'}$ - число молей компонентов i и i' в системе;

U_j - энергия, вносимая компонентом в систему ($j=1, 2, \dots, m$);

Φ_{ni} - полный термодинамический потенциал i -го компонента;

R -универсальная газовая постоянная.

Уравнение (1) с помощью закона сохранения массы:

$$-[\Delta L_j] + \sum_{i=1}^k n_{ji} \cdot M_i + \sum_{i'=1}^l n_{ji'} \cdot M_{i'} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

где n_{ji} и $n_{ji'}$ числа атомов j -го элемента в i -м и i' -м компонентах;

Уравнение состояния:

$$P \cdot V = R \cdot T \cdot \sum_{i=1}^k M_i = 0 \quad (3)$$

где P – давление, V -объем;

и неравенства:

$$\sum_{j=1}^m n_{ij} \cdot U_j \leq \Phi_{ni}^o + R \cdot T \cdot \ln \frac{R \cdot T \cdot M_i}{V}, \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (4)$$

приводится к системе уравнений:

$$-\sum_{j=1}^m n_{ji} \cdot U_j = \Phi_{ni}^* - R \cdot T \cdot \ln \frac{R \cdot T \cdot M_i}{V}, \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (5)$$

$$-\sum_{j=1}^m n_{ji'} \cdot U_j = \Phi_{ni'}^*, \quad (i' = 1, 2, \dots, l) \quad (6)$$

Здесь Φ_n^* - приведенный по температуре полный изобарно-изотермический потенциал.

В итоге система уравнений для определения равновесного состава включает в себя, кроме приведенных выше уравнений: m уравнений сохранения массы, уравнения электронейтральности и состояния. Если выразить другие неизвестные через M_i и $M_{i'}$, то можно решить систему уравнений относительно U_j .

Успешно применяется в различных прикладных исследованиях методология, основанная на прямом использовании экстремальных свойств

полных термодинамических потенциалов. Для условий $P, T = \text{const}$ в основе метода лежит принцип минимизации Φ_n , в соответствии с которым необходимо определить число молей M , обеспечивающих минимум Φ_n

При этом:

$$\Phi_n^o = \sum_{i=1}^k M_i \cdot \Phi_{ni}^{o(P_i)} + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Phi_{ni'}^0, \quad (7)$$

где, $\Phi_{ni}^{o(P_i)}$ и $\Phi_{ni'}^0$ - полные потенциалы газообразных и конденсированных компонентов, отнесенные к одному молю вещества.

При решении системы уравнений с целью нахождения минимума полного потенциала применен метод Лагранжа. Лагранж имеет вид:

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda(M_i, T, P, V, \lambda_j, \lambda_l, \lambda_{P,V}, \lambda_{00}) = \\ &= \sum_{i=1}^k M_i \cdot \Pi_i^{0(\lambda)} + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Pi_{i'}^0 + \sum_{j=1}^m \lambda_j \left\{ -[\Delta L_j] + \sum_{i=1}^k M_i \cdot \Pi_{ji}^0 + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Pi_{ji'}^0 \right\} + \\ &+ \lambda_l \cdot \sum_{i=1}^k M_i \cdot \Pi_{li}^0 + \lambda_{P,V} \cdot (P \cdot V - R \cdot T \cdot \sum_{i=1}^k M_i) + \lambda_{00} \cdot \left(\sum_{i=1}^k M_i \cdot \Pi_i^{0(P_i)} + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Pi_{i'}^0 \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где λ -неопределенные множители Лагранжа, нормирующие ограничения, наложенные на систему. Общее число множителей Лагранжа равно $m+3$.

Искомая система уравнений определения состава по достижению минимума функции (в данном случае Φ_n^o) составляется при дифференцировании функции в частных производных, с последующими преобразованиями. Для случая $P, T = \text{const}$ приобретает вид:

1) k уравнений типа $d\lambda/dM_i = 0$:

$$\frac{d\lambda}{dM_i} = \Phi_{ni}^* + R \cdot \ln \frac{R \cdot T \cdot M_i}{V} + \sum_{i=1}^l n_{ji} \lambda_j = 0; \quad (9)$$

2) l уравнений типа $d\lambda/dM_{i'} = 0$:

$$\frac{d\lambda}{dM_{i'}} = M_{i'} - \frac{R \cdot T}{V} \cdot \exp\left[-A(\Phi_{ni'}^* + \sum_{j=1}^l n_{ji'} \cdot \lambda_{i'})\right] = 0;$$

(10)

2) m уравнений типа $d\lambda/d\lambda_j = 0$:

$$\frac{d\lambda}{d\lambda_j} = -[\mathcal{E}Lj] + \sum_{i=1}^k M_i \cdot n_{ji} = 0; \quad (11)$$

4) уравнение сохранения электрического заряда :

$$\frac{d\lambda}{d\lambda_l} = \sum_{i=1}^k M_i \cdot n_{li} = 0; \quad (12)$$

5) уравнение закона Дальтона :

$$\frac{d\lambda}{d\lambda_{P,V}} = P \cdot V - R \cdot T \cdot \sum_{i=1}^k M_i = 0; \quad (13)$$

6) уравнение производной :

$$\frac{d\lambda}{d\lambda_{00}} = -\Pi^0 + \sum_{i=1}^k M_i \cdot \Pi_i^{0(Pi)} + \sum_{i'=1}^l M_{i'} \cdot \Pi_{i'}^0 = 0; \quad (14)$$

На основе приведенной системы уравнений составлена универсальная программа для ЭВМ. В результате расчетов при заданных температуре и давлении определяют: равновесный состав, энтропию, энтальпию, внутреннюю энергию, удельную теплоемкость и другие характеристики энергетического состояния объекта [28].

Расчет равновесного состава газа и продуктов реакции в условиях низкотемпературной воздушной плазмы проведен на ЭВМ с использованием автоматизированной системы термодинамических расчетов TERRA.

Программа TERRA предназначена для расчета состава и характеристик произвольных систем с химическими и фазовыми превращениями. Программа сопряжена с обширной базой данных свойств индивидуальных веществ, что делает ее пригодной для исследования произвольных по химическому составу композиций.

Правомерность использования термодинамически равновесного приближения оправдывается высоким уровнем концентрации энергии в рассматриваемых объемах и, следовательно, высокими скоростями протекания процессов превращения, мгновенно приводящими среду в состояние локального равновесия. Результаты расчёта приведены в виде

графиков зависимостей молярных концентраций образующихся химических соединений исследуемой системы от температуры и давления. На основании полученных результатов даны рекомендации по выбору условий для проведения плазмохимической переработки растворов.

2.2.2 Анализ физико-химических процессов в газовой среде путем термодинамического моделирования

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных продуктов плазменной обработки воздушного ПВИИ разряда. Расчеты при выполнении данной работы производились в программном комплексе «TERRA».

Расчёты проведены при различных давлениях (0,001; 0,1; 0,6 МПа), широком диапазоне рабочих температур (300÷10000) К.

На рисунке 2.1 представлены характерные равновесные составы основных газообразных продуктов плазменной переработки в воздушной плазме ПВИИ разряда. Состав газовой среды: $N_2 = 78$ % об.; $O_2 = 21$ % об.; $Ar = 1$ % об., давление $P = 0,01 - 0,6$ МПа; температура $T = 300 - 10000$ К.

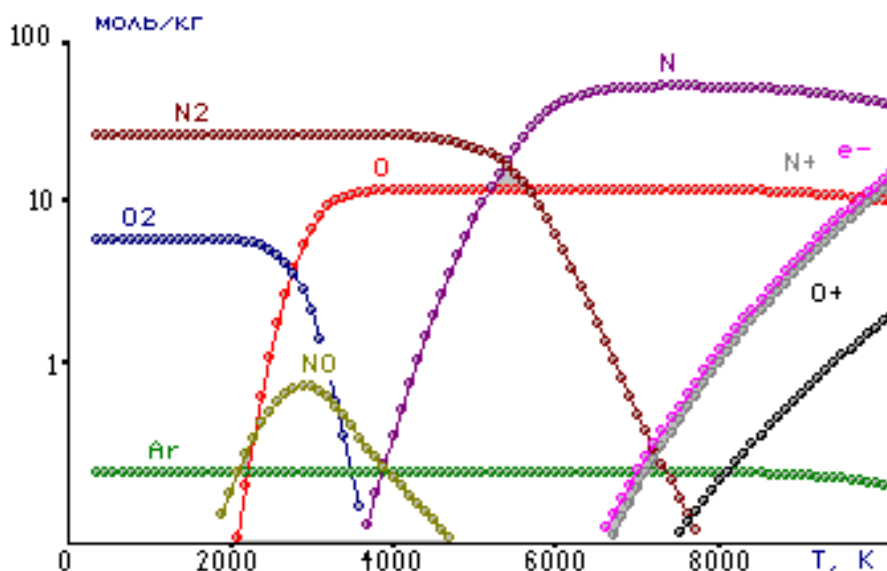


Рис. 2.1 Равновесный состав газообразных продуктов плазменной обработки в воздушной плазме ПВИИ разряда: $N_2 = 78$ % об.; $O_2 = 21$ % об.; $Ar = 1$ % об., давление $P = 0,01$ МПа; температура $T = 300 - 10000$ К

Из анализа равновесных составов (рис. 2.1) следует, что при рабочих температурах до 8000 К основными газообразными продуктами являются N_2 , O_2 , O, N, Ar и NO. Наличие малой интегральной концентрации NO указывает на то, что процесс плазменной обработки при давлении $P = 0,01$ МПа идёт не в оптимальном режиме.

Увеличение давления с 0,01 до 0,1 МПа (рис. 2.2) не приводит к существенному изменению состава газообразных продуктов, но приводит к увеличению интегральной концентрации [NO] в составе продуктов.

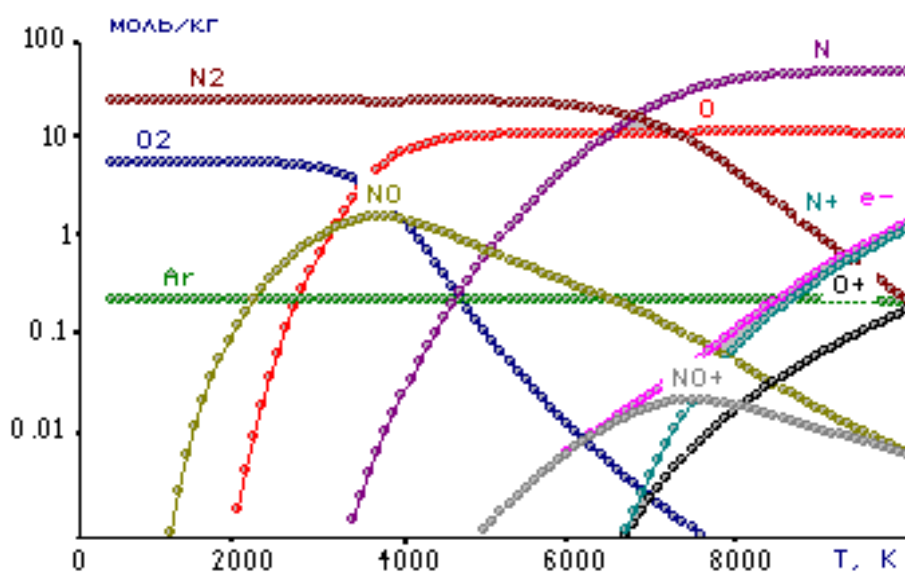


Рис. 2.2 Равновесный состав газообразных продуктов плазменной обработки в воздушной плазме ПВИИ разряда: $N_2 = 78$ % об.; $O_2 = 21$ % об.; Ar = 1 % об., давление $P = 0,1$ МПа; температура $T = 300 - 10000$ К

Увеличение давления с 0,1 до 0,6 МПа (рис. 2.3) не приводит к существенному изменению состава газообразных продуктов и не приводит к существенному увеличению концентрации [NO] в составе продуктов.

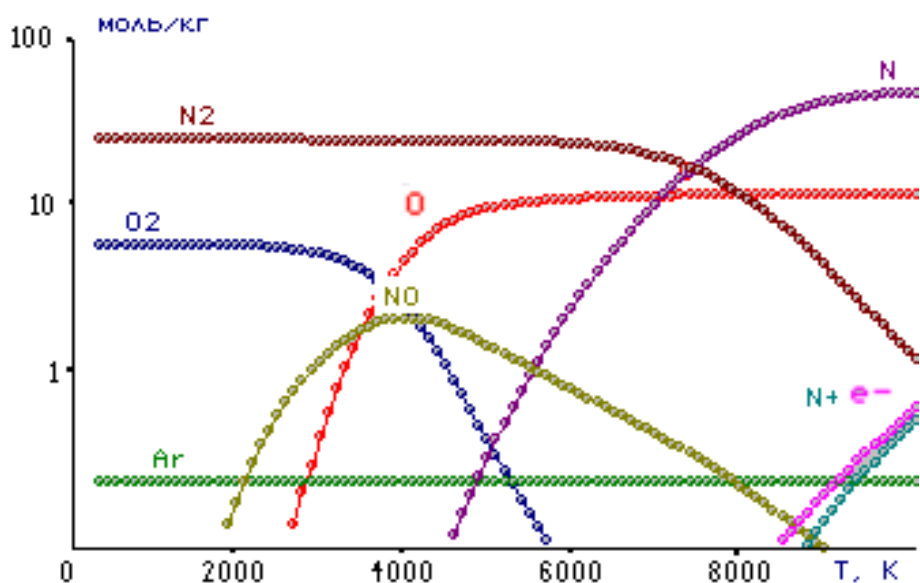


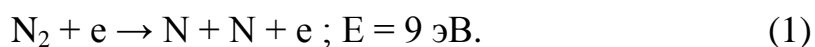
Рис. 2.3 Равновесный состав газообразных продуктов плазменной обработки в воздушной плазме ПВИИ разряда: N₂ = 78 % об.; O₂ = 21 % об.; Ar = 1 % об., давление P = 0,6 МПа; температура T = 300 – 10000 К

Из этого делаем вывод, что увеличение давления выше атмосферного приведет лишь к усложнению технологической схемы процесса и увеличению затрат на реализацию процесса. Таким образом, оптимальным рабочим давлением в реакторе можно считать атмосферное давление и температуру 5000 - 8000 К в канале ПВИИ разряда. Из результатов проведенных расчетов видно, что процесс плазменной обработки сильно зависит от рабочей температуры в канале ПВИИ разряда.

3 Химическое моделирование

При обработке технологических растворов ПВИИ разрядом концентрация озона незначительна, что может говорить о доминирующей окислительной роли азотных частиц.

В ПВИИ разряде протекает реакция (1):



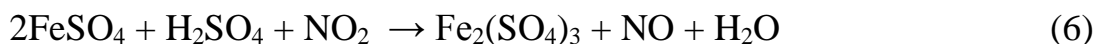
На поверхности, в месте контакта ПВИИ разряда и раствора, протекают реакции (2), (3) и (4):



В газожидкостном потоке внутри реактора протекает реакция (5):

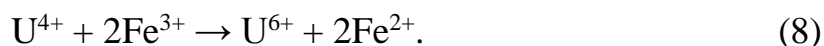


Основными окислителями двухвалентного железа в растворе являются оксид азота NO_2 и азотистая кислота HNO_2 , образующаяся при растворении NO_2 в воде, реакции (6) и (7):



Образовавшийся монооксид азота снова окисляется по реакции (4).

Так в процессах выщелачивания урансодержащей руды, с применением серной кислоты, образуется четырехвалентный уран, который является нерастворимой формой, и для его извлечения требуется применение окислителя, в качестве которого выступает сопутствующее ему железо, реакция (8):



При накоплении в растворе ионов двухвалентного железа процесс замедляется. Регенерация железа в трёхвалентное состояние по уравнениям (6) и (7), является экономически мотивированным процессом и актуальным.

На начальном этапе работы использовались МРСЖ имеющие следующий состав: дистиллированная вода, сульфат двухвалентного железа (FeSO_4) $C = 1,5-3$ г/л, серная кислота (H_2SO_4) $C = 20$ г/л. Начальная концентрация железа (II) в растворе, г/л: 1 - 1,5; 2 - 2; 3 - 2,5; 4 - 3.

4 Экспериментальная часть

К безреагентным методам также относят группу технологий активации окислительно-восстановительных реакций в жидкой среде под действием импульсных электрических разрядов. Одним из высокоэффективных видов обработки жидких сред является электрический разряд в двухфазной среде "газ-жидкость", горящий над поверхностью обрабатываемой жидкости, ПВИИ разряд. Высокая эффективность электроразрядной обработки жидкостей в двухфазной среде обусловлена широким набором генерируемых при этом частиц (гидроксильные радикалы, оксиды азота, озон, атомарный кислород и др.), а также большой площадью контакта газовой и жидкой сред, достигающейся механическим перемешиванием жидкой фазы.

ПВИИ разряд является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов многоцелевого назначения. ПВИИ разряд позволяет с высокой энергетической эффективностью генерировать активные частицы (короткоживущие радикалы, азотсодержащие частицы), способные проводить окисление содержащихся в жидкости неорганических соединений различного состава, позволяет снизить, либо исключить, использование химических реагентов, сокращает время выщелачивания и способствует повышению конечной степени выщелачивания, повышает эффективность извлечения металлов.

Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса, большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов.

Выше представлены результаты термодинамического и химического моделирования, а также лабораторные исследования процесса обработки в воздушной плазме ПВИИ разряда водно-солевых растворов сернокислого железа, имеющих следующий характерный состав: дистиллированная вода, сульфат двухвалентного железа (FeSO_4) $C = 1,5\text{-}3$ г/л, серная кислота (H_2SO_4)

$C = 20$ г/л. Начальная концентрация железа (II) в растворе, г/л: 1 - 1,5; 2 - 2; 3 - 2,5; 4 – 3.

По результатам термодинамических расчётов определено оптимальное давление внутри реактора над поверхностью раствора и температура в канале ПВИИ разряда и обеспечивающие энергоэффективную плазменную обработку. Разработана технологическая схема процесса жидкофазного вскрытия руд при воздействии ПВИИ разряда. Разработана электрическая схема лабораторной установки. Собрана лабораторная установка, и на МРСЖ проведено исследование зависимости концентрации Fe^{3+} и ОВП в МРСЖ от времени обработки в ПВИИ разряде.

4.1 Описание схемы переработки МРСЖ при воздействии ПВИИ разряда

В основу переработки МРСЖ в условиях ПВИИ разряда заложен процесс агитационной обработки жидких сред, в котором применяется перемешивание МРСЖ в агитаторе из пропилена, при воздействии на его поверхность активных частиц окиси азота, образующихся в ПВИИ разряде. При смешивании в объёме реактора компонентов происходит синтез высшей окиси азота, азотной и азотистой кислот и их последующее взаимодействие с серноокислым железом. Принципиальная схема плазмохимического стенда (ПХС), в котором проведены основные исследования по переработке МРСЖ приведена на рисунке 4.1.

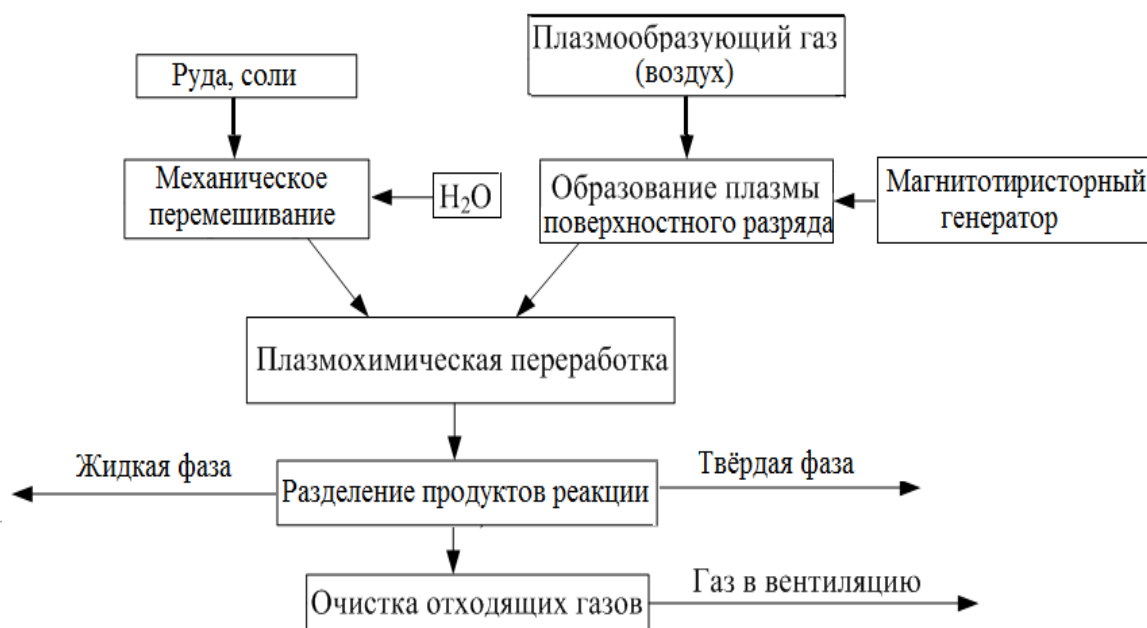


Рис. 4.1 Принципиальная схема плазмохимического стенда (ПХС) переработки МРСЖ при воздействии ПВИИ разряда

4.2 Описание плазмохимического стенда

Обработку МРСЖ в условиях ПВИИ разряда проводили в агитаторе выщелачивания изготовленном из полиэтилена объемом 1000 мл при постоянном механическом перемешивании с помощью мешалки Senco S312-120 (Китай) при комнатной температуре. Структура созданного ПХС показана на рисунке 4.2.

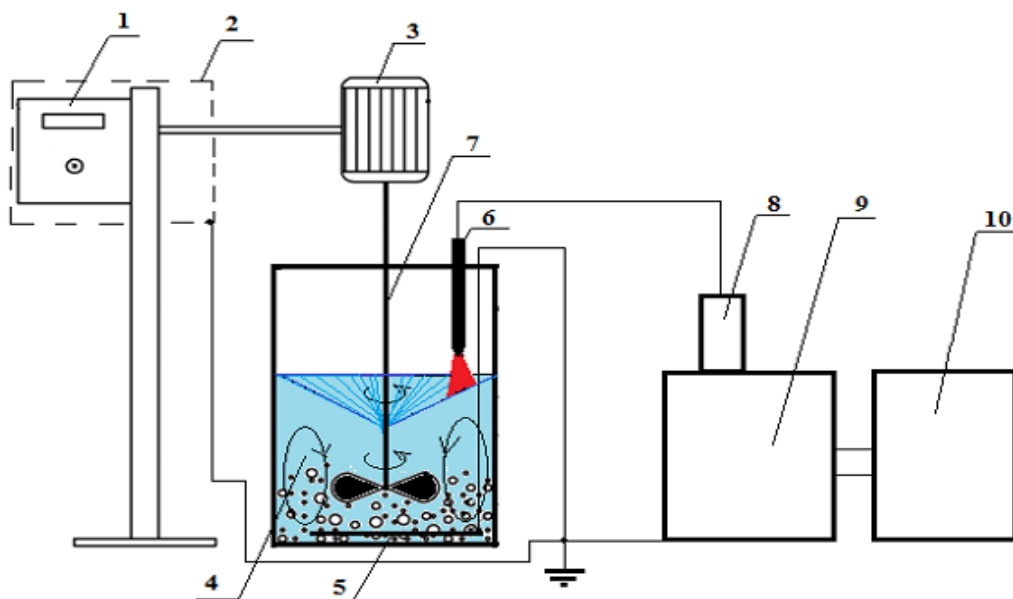


Рис. 4.2 Схема ПХС агитационного выщелачивания при воздействии ПВИИ разряда

1- регулятор оборотов мешалки; 2- экран; 3- мотор мешалки; 4- полиэтиленовый агитатор с выщелачивающим раствором и рудой; 5- заземлённый электрод (круглая пластина); 6- катод; 7- пропеллерная мешалка; 8- высоковольтный изолятор; 9- высоковольтный блок; 10- низковольтный блок

4.3 Источник импульсного напряжения

Принцип работы источника основан на разряде накопительного конденсатора на электрод через магнитный ключ, в качестве которого выступает насыщающийся дроссель. Конструктивно источник выполнен в виде двух блоков: низковольтной части и высоковольтного блока, заполненного трансформаторным маслом [26].

В состав низковольтного блока входят выпрямитель со сглаживающим фильтром и тиристорный блок формирования исходных импульсов, содержащий тиристор VS3, токоограничивающие дроссели и дозирующий конденсатор. Включение тиристорных осуществляется с помощью платы управления. Высоковольтный блок содержит импульсный повышающий трансформатор T2 и магнитные звенья сжатия, состоящие из конденсаторов C9-C11 и насыщающихся дросселей L4-L6 на ферритовых сердечниках (рисунок 4.5).

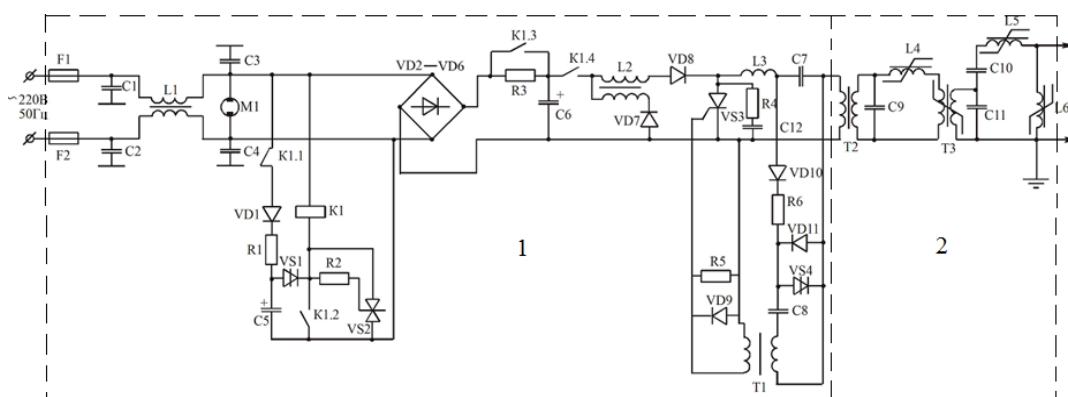


Рис.4.5 Принципиальная электрическая схема магнитотиристорного высоковольтного импульсного генератора

1- низковольтная часть; 2 – высоковольтная часть

Генератор работает следующим образом. Формирование исходного импульса осуществляется с помощью импульсного силового тиристора VS3 (ТБ-261-125-12). Включение тиристора VS3 осуществляется импульсом, который формируется платой управления с частотой 1000 с^{-1} . При включении VS3 начинается зарядка дозирующего конденсатора С3 через токоограничивающий дроссель. При этом дозирующий конденсатор С3 через импульсный повышающий трансформатор Т1 разряжается на высоковольтный конденсатор С9 за время порядка 10 мкс. В дальнейшем насыщаются поочередно дроссели L4, L5, L6. При этом длительность фронта импульса напряжения уменьшается до 300 нс. Размагничивание сердечников дросселей L4-L6 высоковольтного блока осуществляется с помощью источника постоянного тока, который состоит из понижающего трансформатора и выпрямителя с L-фильтром. Генератор импульсов соединялся с нагрузкой при помощи коаксиального кабеля КВИ-100. Ниже приведены основные параметры генератора импульсов напряжения:

- частота электросети: 50 Гц;
- напряжение питания: 220 В;
- потребляемая мощность: 600 Вт/ч
- выходное напряжение: 40 кВ;
- частота следования импульсов: 1000 с^{-1} , одиночные импульсы;
- время нарастания переднего фронта импульса напряжения: 100 нс;
- длительность импульса напряжения по основанию: 300 нс;
- длительность импульса на полувысоте: 200 нс
- форма импульса: колокол
- выходная емкость генератора 830 пФ, 1660 пФ.

Энергия, запасаемая в накопительном конденсаторе генератора импульсов (выходная энергия генератора), составила 0,32 и 0,65 Дж для ёмкости накопительного конденсатора 830 и 1660 пФ, соответственно.

5. Экспериментальное исследование процесса воздушной ПВИИ разрядной обработки МРСЖ

Для экспериментальной проверки воздушной ПВИИ разрядной обработки МРСЖ, использовался ПХС на базе магнитотиристорного генератора высоковольтного импульсного напряжения, который предназначен для исследования процессов воздушного ПВИИ разрядного воздействия на различные растворные композиции в условиях агитационной обработки. Схема ПХС представлена на рисунке 4.2.

ПХС включает магнитотиристорный генератор высоковольтного импульсного напряжения (мощность 600 Вт, рабочая частота 1000 Гц), от которого энергия подается на медный электрод с вольфрамовым наконечником, предназначенный для генерирования воздушных высоковольтных искровых импульсных разрядов со среднемассовой температурой до 10000 К в канале разряда. Рабочая камера ПХС изготовлена в виде агитатора выщелачивания изготовленного из полиэтилена объёмом 1000 мл при постоянном механическом перемешивании с помощью мешалки Senco S312-120 (Китай) при комнатной температуре. Регулятор оборотов мешалки обеспечивает вращение пропеллерной мешалки с частотой от 0 до 1400 об/мин. Принцип работы ПХС заключается в том, что предварительно приготовленный исходный МРСЖ помещается в стакан агитатора в количестве 400 мл. Затем включается агитатор. Над поверхностью раствора включается ПВИИ разряд, который обрабатывает МРСЖ в условиях работающего агитатора в течении определённого времени. Далее ПВИИ разряд выключается, агитационная обработка раствора выключается. Из стакана агитатора берётся проба на анализ. При работе в агитаторе создаётся газодынная смесь, имеющая тангенциальное, круговое и вихревое движение, способствующее интенсивному перемешиванию газодынной смеси с активной газовой средой. На рисунке 5.1 показана фотография собранного ПХС имеющие следующие параметры: число оборотов: 0 - 1400 об/мин, объём перерабатываемого раствора 400 мл, время обработки: 1 - 15 мин,

начальная температура раствора 18 - 20°C, расстояние от катода до поверхности раствора: 10 -20 мм, мощность 600 Вт, выходное напряжение 40 кВ, частота следования импульсов 1 кГц, длительность импульса на полувывсоте 200 нс, длительность импульса по основанию 300 нс, время нарастания переднего фронта импульса 100 нс, форма импульса- колокол. ПХС питается напряжением от сети 220 В и частотой 50 Гц. Катод питается от высоковольтного генератора. На фотографии показано внутреннее содержание магнитотиристорного генератора высоковольтного импульсного напряжения.

На рисунке 5.2 показана фотография собранного ПХС в режиме агитационной обработки МРСЖ в условиях ПВИИ разряда. На первом плане показан агитатор из пропилена с ПВИИ разрядом, который создаёт реакционную газовую среду. Далее показана пропеллерная мешалка. На фотографии показан внешний вид магнитотиристорного генератора высоковольтного импульсного напряжения.

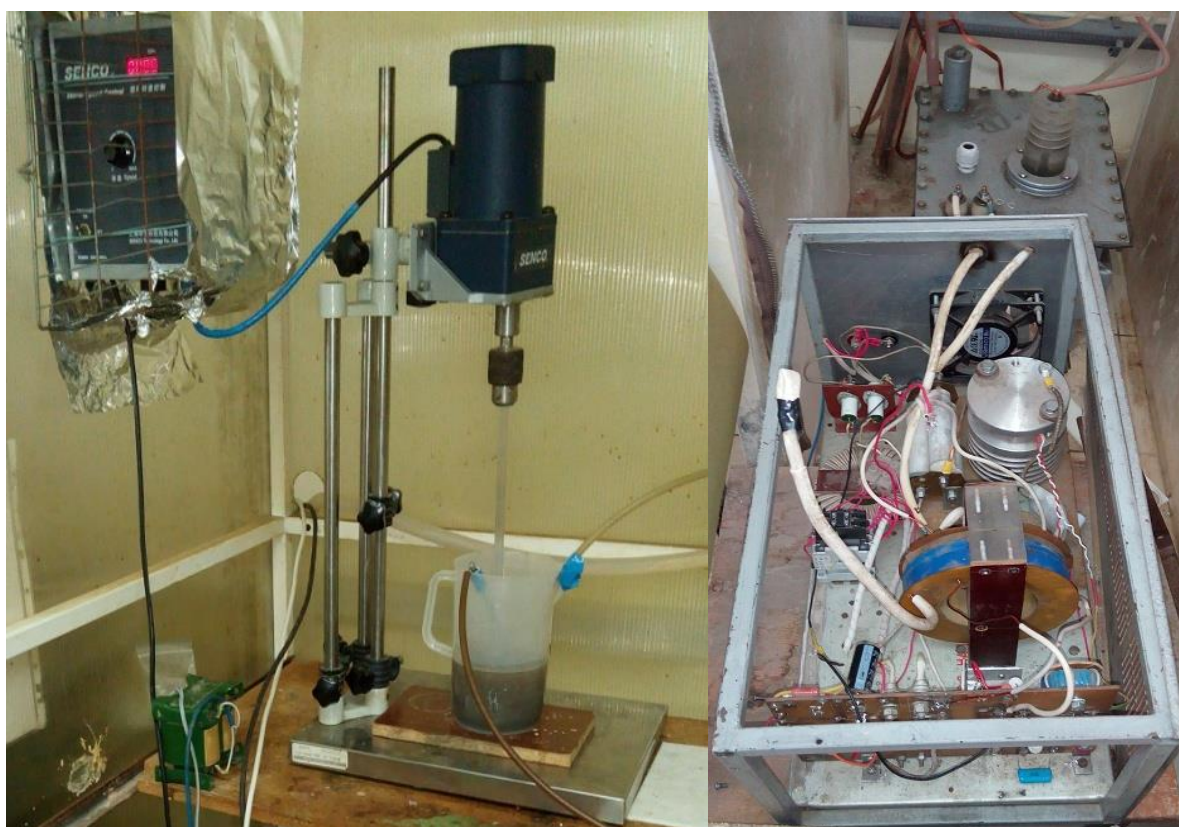


Рис. 5.1 Фотография собранного ПХС



Рис. 5.2 Фотография ПХС в режиме агитационной обработки МРСЖ в условиях ПВИИ разряда

Первоначальным этапом проведения экспериментов является приготовление МРСЖ, имеющих следующий состав: дистиллированная вода 400 мл, сульфат двухвалентного железа $[\text{FeSO}_4]$ концентрация 1,5-3 г/л, серная кислота $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ концентрация = 20 г/л., начальная концентрация $[\text{Fe}^{2+}]$ в растворе, г/л: 1 - 1,5; 2 - 2; 3 - 2,5; 4 - 3.

В ходе опытов был выбран следующий порядок работы на ПХС:

- включение агитатора;
- установка агитатора на рабочий режим, число оборотов 700 об/мин;
- включение магнитотиристорного генератора высоковольтного импульсного напряжения, расстояние от катода до поверхности раствора 10 мм;
- обработка МРСЖ в работающем агитаторе в условиях воздействия ПВИИ разряда в течении 2 - 12 мин, с дискретностью 2 мин;
- выключение магнитотиристорного генератора высоковольтного импульсного напряжения;
- выгрузка раствора из стакана и его упаковка;
- анализ МРСЖ на содержание трёхвалентного железа и ОВП.

На рисунках 5.3 и 5.4 приведены изменения концентрации трёхвалентного железа и ОВП в МРСЖ от времени обработки в условиях ПВИИ разряда соответственно.

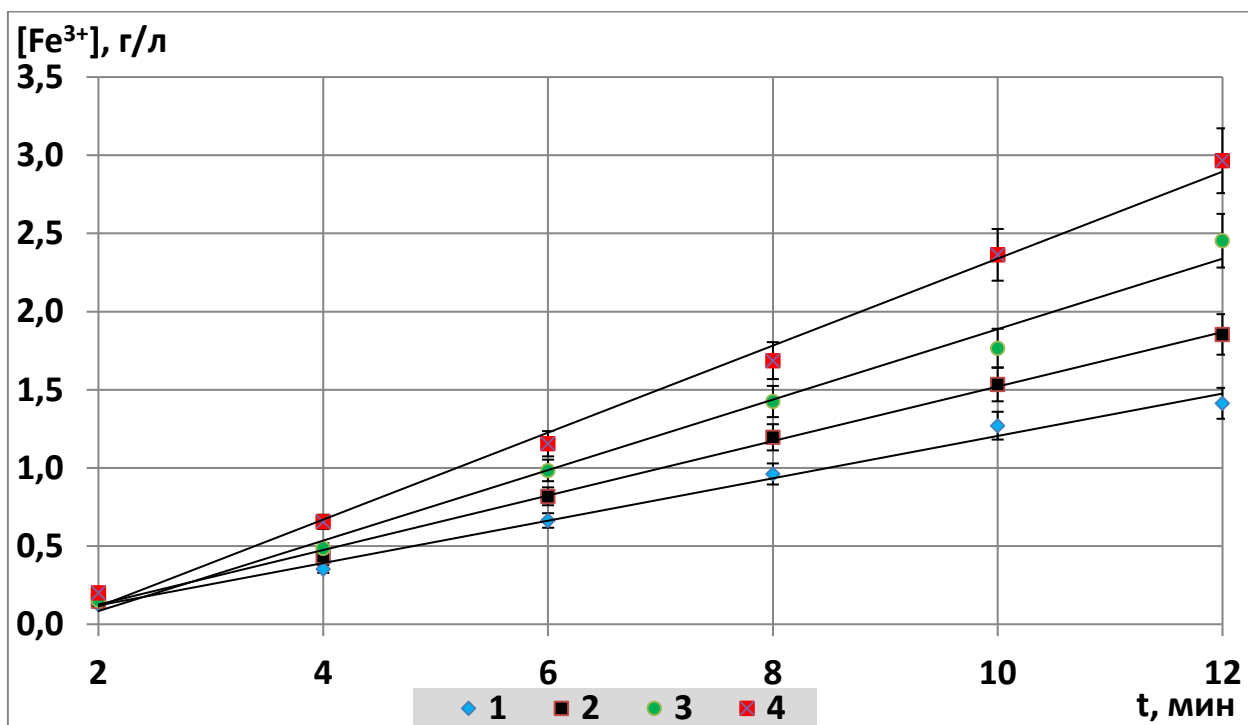


Рис. 5.3 Зависимость концентрации железа в МРСЖ (III) от времени обработки в условиях ПВИИ разряда

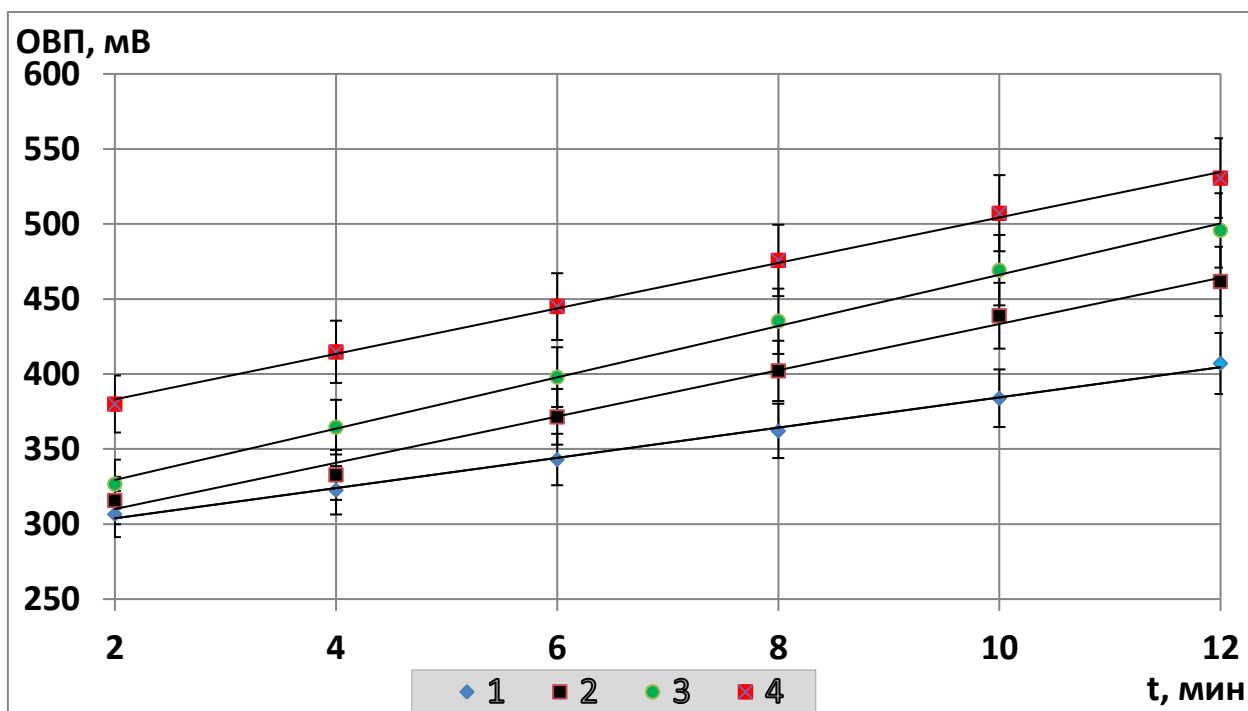


Рис. 5.4 Зависимость ОВП МРСЖ от времени обработки в условиях ПВИИ разряда

Из графиков приведенных на рисунках 5.3, 5.4 видно, концентрация $[\text{Fe}^{3+}]$ в растворе, а также ОВП раствора увеличиваются линейно по мере увеличения времени обработки, и практически все железо в Fe^{2+} форме переходит Fe^{3+} форму. При этом на данном этапе исследования оптимального значения первоначальной концентрации нет, т.к. вся серия экспериментов с разными первоначальными концентрациями протекают достаточно полно в течение 12 минут. Это подтверждает возможность прямого синтеза раствора трёхвалентного сернокислого железа, применяемого в процессах выщелачивания урана.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Проведем сегментирование для анализа группы потребителей результатов исследования.

Применение высоковольтного источника импульсного напряжения находит применение в химии, физике, НИИ, гидрометаллургической промышленности. Гидрометаллургическая промышленность является основным, крупнейшим потребителем. Поэтому является актуальным разработка ресурсоэффективных методов извлечения редких, цветных и благородных металлов из вторичной руды.

Рынок услуг по применению ВИИМТ-Г можно сегментировать по следующим критериям с учетом перспектив: вид продукта – установка для повышения уровня вскрытия руд (рисунок 3.1).

размеры поставки ВИИН	Мелкие	Средние	Крупные
Применение ВИИН			
Физика-химические исследование			
Переработка руд			

Рисунок 6.1 – Карта сегментирования рынка услуг по реализации высоковольтного искрового импульсного магнитотиристорного генератора:

■ - мелкие предприятия, ▨ - НИИ, ▩ - Гидрометаллургическая промышленность

Исходя из карты сегментирования, областью наших исследований заключается в поиске методов увеличения степени извлечения редких, цветных и благородных металлов из вторичной руды.

6.2 SWOT-анализ

SWOT анализ применяется для исследования угроз и возможностей со стороны внешней среды, сильных и слабых сторон внутренней среды научно-исследовательской работы. Для данной научно-исследовательской работы SWOT анализ представлен в таблице 6.1

Таблица 6.1 - матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательской работы:</p> <p>С1. Актуальность работы</p> <p>С2. Профессорский состав с опытом работы в данной области</p> <p>С3. Экологичность технологии</p> <p>С4. Высокий коэффициент вскрытия руд</p> <p>С.5 Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательской работы:</p> <p>Сл1. Малая проработанность эксперимента</p> <p>Сл2. Несовершенство экспериментальной установки</p> <p>Сл3. Недостаточное финансирование</p> <p>Сл4. Сложность сборки установки</p> <p>Сл5. Малый объем обрабатываемого материала</p>
--	---	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Привлечение ведущих мировых специалистов и ученых</p> <p>В2. Использование оборудования из фонда ТПУ и ТГУ</p>	<p>2. Экологичность технологии, актуальность работы, высокий коэффициент вскрытия руд, а также профессорский состав позволят привлечь ведущих ученых и специалистов;</p> <p>2. Актуальность проекта позволит использовать оборудование из фонда ТПУ и ТГУ</p>	<p>1. Малая проработанность эксперимента может не позволить привлечь ведущих мировых специалистов и ученых;</p> <p>2. Сложность сборки установки, малая проработанность теории и эксперимента, может ограничить возможность использования оборудования из фонда ТПУ и ТГУ;</p>
---	---	--

Продолжение таблицы 6.1

<p>В3. Привлечение инвесторов</p> <p>В4. Сотрудничество с конструкторскими бюро</p>	<p>3. Экологичность технологии, актуальность работы, высокий коэффициент вскрытия руд, более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями, а также профессорский состав позволят привлечь инвесторов;</p> <p>4. Высокий коэффициент вскрытия руд, профессорский состав с опытом работы в данной области позволят сотрудничать с конструкторскими бюро</p>	<p>3. Малая проработанность эксперимента, несовершенство экспериментальной установки, малый объем обрабатываемого материала может помешать привлечению инвесторов;</p> <p>4. Малая проработанность эксперимента и недостаточное финансирование, несовершенство экспериментальной установки не позволят в адекватные сроки сотрудничать с конструкторскими бюро;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция альтернативных</p>	<p>1. Надежное и простое оборудование, а также профессорский состав позволят составить достойную конкурентоспособность;</p>	<p>1. Развитая конкуренция альтернативных методов переработки руд может быть более актуальна из-за малой проработанностью эксперимента,</p>

методов переработки руд У2. Отсутствие финансирования У3. Отсутствие спроса на технологию	<p>2. Актуальность работы, исключают увольнение персонала.</p> <p>3. Высокий коэффициент вскрытия руд, актуальность работы, профессорский состав с опытом работы в данной области исключают отсутствие финансирования.</p> <p>4. Экологичность технологии, высокий коэффициент вскрытия руд, более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями позволяют избежать отсутствия спроса на технологию;</p>	<p>сложность сборки установки; недостаточное финансирование; несовершенство экспериментальной установки; малый объем обрабатываемого материала</p> <p>2. Отсутствие финансирования может быть связано с малой проработанностью эксперимента, несовершенство экспериментальной установки, малый объем обрабатываемого материала;</p> <p>4. Отсутствие спроса и финансирования может быть связано со сложностью сборки установки, малой проработанностью эксперимента, необработанностью экспериментальной установки и малый объем обрабатываемого материала;</p>
---	--	---

Таблица 6.2 - интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	+	+	+	-
	B3	+	-	-	-	+
	B4	-	+	-	+	-

Продолжение таблицы 3.2

Угрозы проекта	У1	-	+	-	-	-
	У2	+	+	+	-	-
	У3	-	-	+	+	+

		Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	-	-
	B2	+	-	-	+	-
	B3	+	+	-	-	+
	B4	+	-	+	-	-

Продолжение таблицы 3.2

Угрозы проекта	У1	+	+	-	+	-
	У2	+	-	-	+	+
	У3	-	-	-	-	+

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Порядок составления перечня этапов и работ по выполнению научно-исследовательской работы при выполнении ВКР приведено таблице 6.3.

Таблица 6.3– Перечень необходимых этапов и работ по выполнению ВКР

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы	Руководитель, дипломник
	3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка методики экспериментальных исследований	руководитель, дипломник
	6	Разработка и изготовление экспериментальных установок	руководитель, дипломник
	7	Экспериментальные исследования	дипломник

Теоретические и экспериментальные исследования	8	Анализ и обработка полученных результатов	руководитель, дипломник
Обобщение и оценка результатов	9	Оформление пояснительной записки и графических работ	дипломник
	10	Подготовка к защите дипломной работы	дипломник

6.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Основную стоимость разработки образуют трудовые затраты, поэтому необходимо определение трудоемкости работ каждого участника НИР.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн., t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн., t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

$$t_{min1} = 1 \text{ чел. -дн.}, \quad t_{max1} = 3 \text{ чел. -дн.},$$

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дн.},$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочих дней; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дней; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

$$T_{P_1} = \frac{t_{ож1}}{Ч_1} = 1,8 \text{ рабочих дней.}$$

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $k_{кал}$ – коэффициент календарности, T_{ki} – продолжительность выполнения в календарных днях i -й работы, T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

Где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Количество календарных дней – 365, количество праздничных и выходных дней – 104.

Рассчитаем коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,478$$

$$T_{k1} = T_{P_1} \cdot k_{\text{кал}} = 1,8 \cdot 1,478 = 2,5 \approx 3 \text{ кал. дня}$$

Аналогичным образом проводим расчеты для других этапов научного исследования и сводим результаты в таблице 6.4.

Таблица 6.4– Временные показатели проведения НИР

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ik}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	руководитель	1,4	2
Изучение проблемы и подбор литературы	2	3	2,4	дипломник	2,4	4
Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	2	5	3,2	дипломник	3,2	5
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	дипломник	1,4	2
Разработка методики экспериментальных исследований	10	20	14	руководитель	7	10
	6	10	8	дипломник	4	6
Разработка и изготовление экспериментальных установок	5	10	7	руководитель	3,5	5
	20	30	24	дипломник	12	18

Продолжение таблицы 6.4

Экспериментальные исследования	8	12	8,2	дипломник	10,2	15
Анализ и	10	20	14	руководитель	7	10

обработка полученных результатов	10	20	14	дипломник	7	10
Оформление пояснительной записки и графических работ	6	8	7,2	дипломник	7,2	11
Подготовка к защите дипломной работы	11	15	13,4	дипломник	13,4	20

На основе таблицы 6.4 построим календарный план-график. График строится в рамках научно-исследовательской работы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

▨ – руководитель ■ – дипломник

Таблица 6.5 – Календарный план – график проведения научно-исследовательской работы

№ Работ	Вид Работ	Исполнитель	Тк, Кал. дней	Февраль		Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	▨										
2	Изучение проблемы и подбор литературы	Дипломник	4	■										
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	Дипломник	5	■	■									
4	Календарное планирование работ по теме	Дипломник	2		■									
5	Разработка методики экспериментальных исследований	Руководитель	10			▨								
		Дипломник	6			■	■							
6	Разработка и изготовление экспериментальных установок	Руководитель	5				▨							
		Дипломник	18				■	■	■	■				
7	Экспериментальные исследования	Дипломник	15					■	■	■				
8	Анализ и обработка полученных результатов	Руководитель	10							▨	▨			
		Дипломник	10							■	■			
9	Оформление пояснительной записки и графических работ	Дипломник	11								■	■	■	
10	Подготовка к защите дипломной работы	Дипломник	20										■	■

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования, $N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.), C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.), k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Расчет материальных затрат приведен в таблице 6.6.

Таблица 6.6– Материальные затраты

Наименование материальных ресурсов	Количество материальных ресурсов, $N_{расxi}$	Цена	Затраты на материалы(Z_m), руб.
Трансформаторное масло ГК	30 л	61 руб/л.	1830
Изолятор высоковольтный	1 шт.	840 руб/шт.	840
Сердечник ферритовый, 1000НН кольцо	11 шт	153 руб/шт	1683
Сердечник ферритовый, 600НН кольцо	2 шт.	42 руб/шт.	84
Провода	4 м	150 руб./м	600
Автомат ИЕК 2п С/ 16А	2 шт.	189 руб/шт.	378
Силиконовые трубочки	0,5 кг.	300 руб/кг.	150
Изготовление высоковольтного корпуса с учетом работ и материалов.	-	-.	2000
Итого			7565

6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Данная статья включает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. Возможность использования аппаратуры (масс-спектрометр, осциллограф, генератор) для НИР была предоставлена бесплатно. стоимость данного оборудования необходимо учитывать в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

6.4.3 Заработная плата исполнителей темы

Заработную плату можно вычислить по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб., M – количество месяцев работы без отпуска в течение года, дн.

Расчетный годовой фонд F_d рабочего времени персонала (в рабочих днях), представлен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

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

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб., $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (индивидуально стимулирующая добавка (ИСН)), равный 30 % от $Z_{тс}$, k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска, k_d – коэффициент доплат и надбавок.

Заработная плата $Z_{тс}$ по тарифной ставке (оклад) профессора, доктора наук - 31434 руб., согласно «Положению об оплате труда» ТПУ

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	24180	-	1,3	31434	1048	27	28291
Дипломник	2359	-	1,3	3067	127	91	11557
Итого $Z_{осн}$							39848

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \text{ руб.};$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 6.9

Таблица 6.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	28291	11557
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	30,2	30,2
Сумма отчислений, руб.	8 544	3 490
Итого, руб.:	12 034	

6.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

В ходе научно-исследовательской работы научные и производственные командировки не предусматривались, поэтому затраты на них нулевые.

6.4.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками). Затраты равны нулю, т.к. все работы осуществляются без привлечения сторонних организаций.

6.4.7 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов выберем в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (7567 + 39848 + 12\,034) \cdot 0,16 = 9512$$

6.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 Расчет бюджета затрат НИИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИИ	7565	Пункт 3.4.1
2	Затраты по заработной плате исполнителей темы	39848	Пункт 3.4.3
3	Отчисления во внебюджетные фонды	12 034	Пункт 3.4.4
4	Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 3.4.5
5	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	Пункт 3.4.2
6	Контрагентские расходы	0	Пункт 3.4.6
7	Накладные расходы	9512	Пункт 3.4.7
8	Бюджет затрат НИИ	56 937	Сумма ст. 1-7

6.5 Выводы

Потребителями на рынке услуг по применению высоковольтного искрового импульсного магнитотиристорного генератора в перспективе можно рассматривать мелкие предприятия, НИИ, гидрометаллургическая промышленность. SWOT-анализ, позволяет максимизировать прибыль, также для сведения к минимуму неблагоприятные факторы исследования.

Выполнение выпускной квалификационной работы по календарному план-графику занимает около трех месяцев. По результатам расчета калькуляции плановой себестоимости следует, что основные затраты приходятся на оплату труда. Материальные затраты на исследование составили 7565 руб. Весь бюджет составляет 56 937руб.

7. Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [29].

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности [29].

Эксперименты проводились в лаборатории ИТЦ СФТИ ТГУ/

7.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов при работе в лаборатории

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

В таблице 7.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 7.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на плазменной установке	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожарная опасность	ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность.
Работа на ПЭМ		Термическая опасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле высокой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Химические:

- вредные вещества, которые различными путями проникают в организм человека (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, через кожные покровы и слизевые оболочки);

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

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация:

— в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе;

— в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

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

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° .

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте + 3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° .

7.2.3. Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами и приведены в таблице 7.2 [30].

Таблица 7.2 Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений.

При эксплуатации данной установки в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как NO, NO₂.

В таблице 7.2 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [33].

Таблица 7.2 Нормы ПДК. Классы опасности: 1 – вещества чрезвычайной опасности; 2 – вещества высоко опасные; 3 – вещества умеренно опасные; 4 – вещества малоопасные.

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2

Превышений ПДК при работе экспериментальной установки нет

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом - от 20 до 25 °С, зимой – от 13 до 15 °С.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [31] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др.

Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [32] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

7.3. Электробезопасность

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

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35°С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности

одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [34].

Электрозщитные средства — это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги.

Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим

ТОКОМ ОТНОСЯТСЯ:

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

В случае поражения работающего персонала на установке электрическим током необходимо отключить установку от сети и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего, которые определяются путём проведения следующих мероприятий:

- уложить пострадавшего спиной на твёрдую поверхность;
- проверить наличие дыхания и пульса;
- выяснить состояние зрачка.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока — обеспечить ему условия для полного покоя, следить за дыханием и пульсом, вызвать врача.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дышит и прощупывается пульс, необходимо привести его в сознание, дать понюхать нашатырный спирт и обрызгивать водой, при необходимости делать искусственное дыхание и массаж сердца.

7.4. Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [34, 35], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

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

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

— правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

— правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

— обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

— издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

— соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

— правильное размещение оборудования;

— своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При ожогах рук (или кожного покрова других частей тела) обожжённую поверхность следует перевязать так же как любую рану, покрыть стерилизованным материалом из пакета или чистой глаженной полотняной тканью, сверху положить слой ваты и закрепить бинтом. После этого пострадавшего следует отправить в лечебное учреждение. Запрещается касаться руками обожженного участка кожи и смазывать его какими-либо мазями, маслами, вазелином или растворами. Не следует производить вскрывание пузырей и обожженных участков, так как при этом создаются благоприятные условия для заражения раны микробами с последующим нагноением.

Выводы

- Проведены термодинамические расчёты равновесных составов газообразных продуктов ПВИИ разряда, обеспечивающие прямое получение диоксида азота, азотной и азотистой кислот внутри раствора.

- По результатам термодинамических расчётов определено оптимальное давление над поверхностью раствора и температура в канале ПВИИ разряда.

- Разработана технологическая схема процесса жидкофазного вскрытия руд при воздействии ПВИИ разряда, а также собран стенд для изучения процесса активации растворов выщелачивания с помощью воздушного ПВИИ разряда в двухфазной среде «газ-жидкость», в условиях механического перемешивания жидкой фазы.

- Результаты экспериментов показали, что Fe^{3+} в растворе при концентрациях Fe^{2+} (1,5; 2; 2,5; 3 г/л), а также ОВП раствора увеличиваются линейно по мере увеличения времени обработки, и практически все железо в Fe^{2+} форме переходит Fe^{3+} форму в течении 12 минут независимо от концентрации Fe^{2+} .

Список используемых источников

1. Смирнов Ю.В., Ефимова З.И. и др. Гидрометаллургическая переработка уранорудного сырья. М.: Атомиздат, 1979.
2. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. - М.: Руда и металлы, 2006. ISBN 5-98191-019-4.
3. Мамилов В.А., Петров Р.П., Шушания Г.Р. Добыча урана методом подземного выщелачивания. - М.: Атомиздат, 1980. ISBN 5-98191-019-4.
4. Заулочный П.А., Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Ким Д.Х. Кинетические закономерности биовыщелачивания упорного золотосодержащего концентрата с использованием ассоциаций микроорганизмов. Цветные металлы. 2011. Т. 1. С. 14-17
5. Крылова Л.Н., Адамов Э.В., Пивоварова Т.А., Кондратьева Т.Ф. Режимы кучного бактериального химического выщелачивания медной руды Удоканского месторождения. Цветные металлы. 2011. №7. С. 16-20
6. Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Ким Д.Х. Использование биотехнологии - перспективный путь вовлечения в эксплуатацию месторождений с упорными рудами золота. Горный журнал. 2006. Т. 10. С. 52-57
7. Крылова Л.Н., Медведев А.С., Рябцев Д.А. Действие механоактивации на окислительное выщелачивание сульфидных медных концентратов. Цветные металлы. 2009
8. Литвинцев В.С., Мельникова Т.Н., Ятлукова Н.Г., Литвинова Н.М. Механоактивация в процессах рудоподготовки. Горный журнал. 2005. Т. 12. № 3. С. 306-311
9. Пирковский С.А., Трусова В.М., Нестеров К.Н. Способ извлечения урана из рудного сырья. Патент РФ. №2393255. 2010.
10. Крылова Г.С., Седельникова Г.В., Ананьев П.П. Применение магнитно-импульсной технологии для интенсификации проц. извлечения золота из руд и концентратов. Цветные металлы. 2007. Т. 2. С. 30-31

11. Гончаров С.А., Крылова Г.С., Седельникова Г.В., Ананьев П.П., Мартынов Ю.А., Иванов В.Ю. Применение магнитно-импульсной обработки золотосодержащих руд и концентратов при их цианировании. Горный журнал. 2006. Т. 10. С. 58-60
12. Чантурия В.А., Лавриненко А.А., Краснов Г.Д. Повышение эффективности флотации на основе использования энергетических воздействий. Горный журнал. 2006. Т. 10. С. 48-52
13. Киреев Д.С., Белоглазов И.Н., Эль - Салим С.З. Интенсификация процесса сорбции цветных металлов из сточных вод в переменном электрическом поле. Цветные металлы. 2007
14. Коликов В.А., Курочкин В.Е., Панина Л.К., Рутберг А.Ф., Рутберг Ф.Г., Снетов В.Н., Стогов А.Ю. Пролонгированная микробная устойчивость воды, обработанной импульсными электрическими разрядами. Журнал технической физики. 2007. Т. 77. №2. С. 118-125
15. Богатенков И.М., Бочаров Ю.Н. и др. Техника высоких напряжений. СПб.: Энергоатомиздат, 2003. ISBN 5-283-04757-1.
16. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. М.: Издательство московского университета, 1989. ISBN 5-211-00415-9.
17. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд. Москва: МФТИ, 1997. ISBN 5-89155-013-X.
18. Яворовский Н.А., Корнев Я.И. и др. Импульсный барьерный разряд как метод обработки воды: активные частицы-окислители в водовоздушном потоке.
19. Ушаков В.Я., Клишкин В.Ф., Коробейников СМ., Лопатин В.В. Пробой жидкостей при импульсном напряжении. Томск: НТЛ, 2005. ISBN 5-89503-234-6.
20. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986.

21. Видяйкина Н.В. Электроразрядный способ удаления гуминовых веществ из воды. Вестник ТГАСУ. 2007№4. С. 127-134
22. Гасанов И.С., Гусейнов Э.К. и др. Особенности электрического взрыва проводников в жидкости. Проблемы энергетики. 2003. №5.
23. Колпакова Н.А., Поцяпун Ы.П., Буйновский А.С. Выщелачивание тиокарбамидом тонкодисперсного золота из упорных руд, активированных электрическими разрядами в жидкости. Горный журнал. 2006. Т. 4. С. 47-49
24. Анпилов А.М., Бархударов Э.М., Козлов Ю.Н. и др. Многоискровой импульсный высоковольтный разряд в двухфазной среде вода-воздух, сб. ст. XXXVI Международной конференции по физике плазмы и УТС. 2009.
25. Боев С.Г., Муратов В.М., Поляков Н.П., Яворовский Н.А. Реактор и способ очистки воды. Патент РФ. № 2136600. 1999.
26. Гордеев П.Г., Поляков Н.П. и др. Мощный магнитно-тиристорый генератор импульсов. Приборы и техника эксперимента. 1980. С. 117-119
27. Chang Jen-shih, Phil A. Lawless, and Toshiaki Yamamoto. Corona discharge processes. IEEE Transactions on plasma science. 1991. Vol. 19. No 6. P. 1152-1166
28. Vincent A., Daou F. et al. Experimental and simulation study of NO_x removal with a DBD wire-cylinder reactor. Progress in Plasma Processing of Materials. 2003. P. 661-669
29. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
31. Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.

32. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ.

33. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

34. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.

35. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.