

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

Институт: Физико-технический

Специальность: 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект участка по конверсии карбоната лития-7 в раствор гидроксида лития-7 производительностью 200кг/год

УДК 66.013.512

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0401	Старцев Рустам Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Ворошилов Федор Анатольевич	к.х.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Менеджмента	Тухватулина Лилия Равильевна	к.ф.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТРЭ	Усов Владимир Федорович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭАФУ	Вильнина Анна Владимировна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ХТРЭ	Крайденко Роман Иванович	д.х.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки готовых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт: Физико-технический

Направление подготовки (специальность): 240601 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0401	Старцев Рустам евгеньевич

Тема работы:

Проект участка по конверсии карбоната лития-7 в раствор гидроксида лития-7 производительностью 200кг/год	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 13 ноября 2015 года, № 8928/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 января 2016 года
--	---------------------

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Проект участка по конверсии карбоната лития-7 в раствор гидроксида лития-7 производительностью 200кг/год. Основной аппарат цеха – мембранный диализатор, работает в непрерывном режиме. Данные о элементном составе сырья и конечного раствора: $[Li_2CO_3] = 80 \%$, степень извлечения $Li = 96 \%$;
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение. ТЭО. 2. Аналитический обзор существующих методов. 3. Теория выбранного процесса. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 4. Расчетная часть. 4.1. Расчет материального баланса. 4.2. Расчет теплового баланса. 4.3. Аппаратный расчет. Расчет геометрии и габаритов аппаратов технологической схемы. 4.4. Механический расчет основного аппарата. 4.5. Гидравлический расчет. 5. Автоматизация процесса. 6. Строительная часть. 7. Социальная ответственность 8. Расчет периода окупаемости предприятия.
Перечень графического материала	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Аппаратурно-технологическая схема. 3. План размещения оборудования. 4. Разрез цеха. 5. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83). 6. Техничко-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.ф.н., Тухватулина Л.Р.
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н., Усов В.Ф.
Автоматизация процесса	Доцент, к.т.н. Вильнина А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы ВКР написаны на русском языке	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 ноября 2015 года
---	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер - технолог	Рахматулин Ринат Зуфарович	к.х.т, доцент		12.11.2015

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0401	Старцев Рустам Евгеньевич		12.11.2015

Реферат

Выпускная квалификационная работа 104 с., 18 рис., 28 табл., 17 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Диализатор, диализ, мембраны, гидроксид лития, литийсодержащие осадки, конверсия, кислотное выщелачивание.

Объектом исследования является технологическая схема участка переработки литийсодержащих осадков.

Цель работы – спроектировать участка по конверсии карбоната лития-7 в раствор гидроксида лития-7.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Объем и габаритные размеры основного аппарата составляют – $V = 0,044 \text{ м}^3$, $D = 1,46 \text{ м}$, $L = 0,6 \text{ м}$; время протекания процесса – $t = 36$ часов;

Степень внедрения: проект находится на стадии разработки.

Область применения: Химическая технология редких металлов.

Экономическая эффективность/значимость работы: Капитальные затраты составляют – 1 225 000 рублей; Себестоимость проекта: 18 558 553 рублей. В будущем планируется улучшение технологической схемы, подбор оптимальных параметров.

1) Определения:

Водородный показатель (pH) – мера активности (в очень разбавленных растворах она эквивалентна концентрации) ионов водорода в растворе, и количественно выражающая его кислотность, вычисляется как отрицательный (взятый с обратным знаком) десятичный логарифм активности водородных ионов, выраженной в молях на один литр:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

Так как в кислых растворах $[\text{H}^+] > 10^{-7}$, то у кислых растворов $\text{pH} < 7$, ана-логично, у щелочных растворов $\text{pH} > 7$, pH нейтральных растворов равен 7.

Выщелачивающий раствор – раствор, содержащий необходимые для извлечения полезного компонента реагенты и подаваемый в аппараты для осуществления процесса выщелачивания.

Выщелачивание – перевод в раствор (обычно водный) одного или нескольких компонентов твёрдого вещества с помощью водного или органического растворителя, часто при участии газов окислителей или восстановителей.

Кислотное выщелачивание – выщелачивание растворами кислот (обычно серной).

Извлечение – количество металла в конечном или промежуточном продуктах технологических работ, выраженное в весовых единицах или процентах к общему весу полезного компонента в пробе, в поступающих на переработку растворах или находившегося в недрах.

Нормативные потери – рассчитанные потери полезного ископаемого для применяемой системы отработки.

Окислительно-восстановительная реакция (реакции окисления-восстановления) – реакции, сопровождающиеся изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ. Одновременно

происходит окисление (отдача электронов) и восстановление (присоединение электронов).

Растворение – физико-химический процесс, протекающий между твердой и жидкой фазами и характеризующийся переходами твердого вещества в раствор. Растворенным веществом считается тот из компонентов, который при обычных условиях находится в агрегатном состоянии, отличном от агрегатного состояния растворителя.

Реагент – химическое вещество (обычно в виде водного раствора), используемое для выщелачивания или ускорения извлечения полезного компонента.

Скорость фильтрации – отношение расхода потока жидкости к площади его (потока) поперечного сечения в единицу времени, мм в час.

Степень извлечения – количество извлеченного из минерала полезного компонента (отношение веса добытого металла к его содержанию в минерале). Обычно выражается в % относительно исходного содержания, реже в долях единицы.

Техника безопасности (охрана труда) – система технических, санитарно-гигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих.

Удельный расход реагента – количество реагента, расходуемого на извлечение единицы массы полезного компонента (кг/кг) или на взаимодействие с его минеральной массой (кг/т, %).

Фильтрация – движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.

2) Обозначения и сокращения:

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ВР – выщелачивающий раствор;

ГП – готовый продукт (продукция);

ППР – плановый предупредительный ремонт;

ЗП – заработная плата;

ТЗ – техническое задание;

ТУ – технические условия;

ФСА – функциональная схема автоматизации.

ЛГО–7 – литий гидроксид – 7

ЛХИТ – литиевые химические источники тока.

3) Нормативные ссылки

ГОСТ Р 1.5 - 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. 1 (правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104 - 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

ГОСТ 2.105 - 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106 - 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

ГОСТ 2.301 - 68 Единая система конструкторской документации. Форматы.

ГОСТ 2.316 - 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.

ГОСТ 2.721 - 74 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 3.1102 - 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

ГОСТ 3.1105 - 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 7.0.5 - 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

ГОСТ 7.1 - 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

ГОСТ 7.9 - 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

ГОСТ 7.32 - 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 8.417 - 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

ГОСТ 19.106 - 78 Единая система программной документации. Требования к программным документам, выполненным печатным способом.

ГОСТ 13372 - 78 Сосуды и аппараты. Ряд номинальных объемов.

ГОСТ 9931 - 85 Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 6533 - 78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.

ГОСТ 5632 - 73 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.

ГОСТ 12831 - 67 Фланцы с выступом или впадиной стальные приварные встык. Конструкция, размеры и технические требования.

ГОСТ 23838 - 89 Здания предприятий.

ГОСТ 12.4.085 - 80 ОСБТ. Костюмы мужские для защиты от нетоксичных веществ.

ГОСТ 12.4.072 - 79 ОСБТ. Сапоги специальные резиновые форменные, защищающие от соды, минеральных масел и механических воздействий.

ГОСТ 12.4.036 - 78 ОСБТ. Костюмы мужские для защиты от кислот. ТУ.

ГОСТ 12.4.127 - 83 ОСБТ. Обувь специальная кожаная.

ГОСТ 12.4.028 - 76 ОСБТ. Респираторы ШБ 200 "Лепесток".

ГОСТ 12.4.003 - 76 ОСБТ. Очки защитные, тип ЭЛ или ЭН.

ГОСТ 12.4.010 - 75 ОСБТ. Средства индивидуальной защиты.

Рукавицы специальные. ТУ.

ТУ 12.4.028 - 76 Респираторы У2К.

ГОСТ 101 - 82 Противогазы промышленные фильтрующие ТУ.

ГОСТ 24.301 - 80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 24.302 - 80 Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем.

ГОСТ 24.303 - 80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

Оглавление

Введение	11
1. Обзор литературы.....	13
1.1 Каустификация карбоната лития	15
1.2 Вакуум-термическое восстановление оксида лития.....	22
1.3 Электролитические методы переработки	23
1.3 Теория выбранного процесса.....	26
1.3.1 Общие сведения.....	26
1.3.2 Классификация литийсодержащих осадков	27
1.3.3 Водное выщелачивание	30
1.3.4 Кислотное выщелачивание и химическая очистка растворов.....	30
1.3.5	31
1.3.6 Конверсия лития из растворов сульфата лития	33
1.4.1 Химизм процесса.....	34
1.4.2 Термодинамика процесса получения гидроксида лития	36
3 Расчет и аналитика	39
3.1. Описание технологической схемы.	39
3.2 Материальный расчет	43
3.2.1 Материальный баланс процесса диализного разделения	43
3.2.2 Материальный баланс процесса химической очистки и фильтрации ...	45
3.2.3 Материальный баланс процесса кислотного выщелачивания	45
3.2.4 Материальный баланс процесса водного выщелачивания	46
3.3 Тепловой баланс процесса диализа сульфата лития	46
3.6 Механический расчет.....	57
3.7 Гидравлический расчет.....	59

4. Результаты проведенного исследования (разработки).....	64
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	65
5.1 ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА	65
5.1.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛАНСА ВРЕМЕНИ ОДНОГО РАБОЧЕГО	65
5.1.2 РАСЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОЧИХ, СЛУЖАЩИХ, РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ	67
5.1.2.1 РАСЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ	67
5.2.2 РАСЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПЕРСОНАЛА	67
5.2.3 РАСЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ, РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СЛУЖАЩИХ.....	67
5.6 РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАТРАТ	72
5.6.1 Затраты на электроэнергию.....	72
5.7 КАЛЬКУЛЯЦИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПЕРЕДЕЛА.....	73
6. Автоматизация процесса получения безводного тетрафторида урана.....	75
6.1 Описание функциональной схемы автоматизации.....	75
5.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации.....	77
5.4 ВЫБОР ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....	78
5.5 Автоматизация процесса с использованием средств ЭВМ	82
5.6 Действия оператора-технолога при различном ведении процесса	85
Заключение	99
Литература	100

Введение

Гидроксид лития - неорганическое основание щелочного металла лития, имеющее формулу LiOH . Является сильным основанием, но наиболее слабым основанием среди щелочных металлов. Гидроксид лития при стандартных условиях представляет собой бесцветные кристаллы с тетрагональной решёткой.

Растворимость в воде, $12,24 \text{ г/см}^3$ при 25°C , растворимость с температурой практически не повышается.

Актуальность. В процессе производства лития-7 гидроксида моногидрата происходит образование и накопление литийсодержащих осадков. Это обусловлено как технологическими особенностями процесса, так и химическими свойствами растворов гидроксида лития. При контакте раствора с воздухом происходит образование труднорастворимого карбоната лития, который накапливается во всем емкостном оборудовании. Для дальнейшей переработки особую ценность представляют осадки, образующиеся на конечной стадии производства, ввиду содержания высокообогащенного лития-7 с изотопной концентрацией более 99,95 %.

Классическим способом перевода карбоната лития в его гидроксид является каустификация с использованием оксида или гидроксида кальция. Применимость этого способа в данном случае ограничена: во-первых, безвозвратными потерями лития-7 до 15-20 % от исходного содержания в отходах; во-вторых, образованием еще большего количества отходов относительно количества осадков, требующих утилизации и, в-третьих, для получения гидроксида лития-7 прежнего химического состава, потребуется дополнительная очистка от накопленных в осадках примесей и, возможно, кальция. Хотя в настоящее время содержание кальция не является контролируемым, но нельзя исключать возможность его появления в требованиях спецификации к контрактам после проведения аудита технологии потребителем.

В разрабатываемой технологии предлагается извлекать литий из осадков в растворимое соединение сульфата с последующей конверсией полученных растворов в раствор гидроксида лития с применением электромембранных процессов.

Цель работы: спроектировать участок для переработки литийсодержащих осадков.

Объектом исследования является технологическая схема участка переработки литийсодержащих осадков.

Предметом исследования является участок, в котором будет осуществляться процесс переработки литийсодержащих осадков, основной аппарат диализатор.

Научная и практическая новизна заключается в следующем:

– Предложена принципиальная технологическая схема и технологическая схема цепи аппаратов конверсии литийсодержащих осадков, обеспечивающая комплексную переработку осадков с получением кондиционных растворов гидроксида лития.

Практическая значимость результатов ВКР. В настоящее время в цехе производства специальных литиевых материалов накоплен значительный объем карбонатных отходов с большим содержанием примесей (технологических оборотов), составляющих 2,5 - 3% от общего объема производства ЛГО-7. Содержание целевого продукта в накопленном объеме карбонатных отходов составляет около 400 кг, что эквивалентно упущенной выручке от реализации в размере более 50 млн. руб. В среднесрочной перспективе ежегодное накопление технологических оборотов в производственном цикле изготовления ЛГО-7 будет продолжаться. Содержанием целевого продукта в карбонатных отходах составит до 60 кг в год, что эквивалентно упущенной выручке от реализации в размере более 8 млн. руб. ежегодно.

1. Обзор литературы

В мировой практике карбонат лития широко потребляется в различных отраслях промышленности (в производстве каучука, стекла, алюминия и т.д.). Для производства других соединений лития он используется крайне редко, хотя может служить исходным сырьем для получения различных литиевых продуктов, среди которых особое значение имеют моногидрат гидроокиси лития и хлорид лития – основные исходные материалы для получения металлического лития [1].

В настоящее время единственным сырьевым источником для получения соединений лития в России является карбонат лития, импортируемый из Чили. Отечественная промышленность базируется на использовании чилийского карбоната в силу его низкой стоимости, что обеспечивает рентабельность производства литиевых продуктов.

Однако для получения дешевого карбоната лития можно использовать и отечественное гидроминеральное сырьё в виде литиевых рассолов Сибирской платформы [1], запасы которого практически неисчерпаемы. Другим важным сырьём для получения литиевых продуктов являются литийсодержащие отходы различных производств, потребляющих первичную литиевую продукцию, в основном хлорид и гидроксид лития, и имеющие безвозвратные потери литийсодержащих отходов.

В таблице. 1 приводится распределение лития по видам отходов [2]. Из таблицы следует, что твёрдые отходы различных производств представляют собой хлорид лития или смесь хлорида лития и оксида (последний активно взаимодействует с CO_2 из воздуха, превращаясь в карбонат лития) или металлического Li, карбоната и хлорида лития. В последние годы значительно вырос объём твёрдых литийсодержащих отходов, например, литиевые химические источники тока (ЛХИТ).

Таблица 1 – Оценка распределения лития по видам отходов по данным [2]

Область использования	Количество, % отн.	Вид
Производство химволокна	80...90	Твёрдые (LiCl)
Органический синтез	50...60	Жидкие (LiCl)
Производство синтетического каучука и эластопластов	50...60	Жидкие (LiCl)
Получение Al – Li сплавов	10...15	Шлаки и флюсы (LiCl, Li ₂ O)
Производство литиевых химических источников тока (ЛХИТ)	20...25	Металлический литий, LiCl, Li ₂ CO ₃ .
Металлотермическое получение редкоземельных металлов	90...95	Шлаки (LiCl, Li ₂ CO ₃)

Утилизация лития из ЛХИТ может осуществляться путём механического их измельчения с последующей кислотной обработкой. Для этих целей может использоваться как соляная, так и серная кислоты. Полученные в результате кислотной обработки растворы литиевых солей могут быть переработаны в товарные литиевые продукты с использованием электрохимических методов [3]. Любые более концентрированные по литию твёрдые отходы после кислотной обработки легко перерабатываются содовым осаждением в карбонат лития.

Однако, при этом получается карбонат лития низкой степени чистоты. По мнению авторов, [4] для получения более чистых литиевых продуктов из литийсодержащих отходов и загрязнённых солей, включая Li₂CO₃, целесообразно перерабатывать их в гидроксид лития, используя электрохимические методы, в частности, мембранный электролиз.

Электрохимические способы конверсии карбоната лития в гидроксид имеют существенные преимущества по сравнению с химическими способами производства путём взаимодействия Li_2CO_3 с известковым молоком [5], так как позволяют сразу, по более простой схеме, получить литиевую щелочь высокой чистоты при меньших потерях лития. Однако конверсия Li_2CO_3 в LiOH путём мембранного электролиза водного раствора карбоната лития не является оптимальным вариантом решения поставленной задачи. Низкая производительность и высокая энергоёмкость процесса электрохимической конверсии при использовании водного раствора карбоната лития, обусловленная низкой растворимостью карбоната лития в воде, являются существенными недостатками при организации крупномасштабного производства.

1.1 Каустификация карбоната лития

Ряд способов получения едкого лития основан на обменных реакциях между солями лития и гидроокисями щелочных или щелочноземельных элементов в водных растворах. [6] Едкий литий можно получить действием гидроокисей калия, кальция или бария на раствор сернокислого лития. Каустификация сульфата лития едким калием и гидратом окиси кальция дает низкий выход гидроокиси лития, так как очень быстро достигается равновесие реакций.

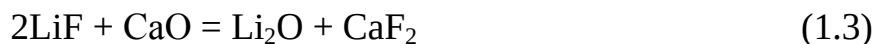
Быстро и количественно идет реакция:



Этой реакцией часто пользуются для получения очень чистой гидроокиси лития в лабораторных условиях.

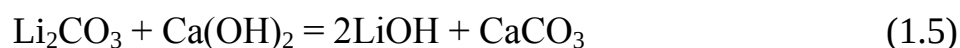
Вследствие большого расхода дорогостоящей гидроокиси бария и трудности отмывки едкого лития от объемистого осадка сульфата бария промышленное использование этой реакции нецелесообразно.

Фторид лития может быть переведен в гидроксид путем каустификации его известью или спеканием с оксидом кальция по реакциям:



Взаимодействие фторида лития с известью в водной пульпе проводится при температуре от 60 до 90 °С; полученный раствор содержит от 10 до 15 г/л LiOH. После упаривания раствора, кристаллизуют моногидрат едкого лития. В котором содержится до 0,2 % ионов фтора. Переход лития из фторида в гидроксид достигает от 85 до 90 %. Спекание фторида лития с оксидом кальция осуществляется при 700°С. После обработки спека водой получают сильно разбавленные растворы гидроксида лития, причем извлечение лития в гидрат не превышает 30 % [7].

Из известных способов получения гидроксида лития практическое применение получила каустификация карбоната лития известью:



В настоящее время реакция, положенная в основу процесса, детально изучена, и способ значительно усовершенствован [7]. Направление реакции каустификации карбоната лития известью можно предвидеть, исходя из растворимости отдельных компонентов, представленной в таблице 1.

Таблица 2 – Растворимость отдельных компонентов

Растворимость при 20 °С в 100 г воды				
	Li_2CO_3	Ca(OH)_2	CaCO_3	LiOH
г·экв	0,036	$4,45 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,535
г	0,13	0,165	$1,3 \cdot 10^{-3}$	12,8

Очевидно, равновесие реакции практически сдвинуто в сторону образования труднорастворимого карбоната кальция. Изучение растворимости системы $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$ при 75°C показало, что максимальная концентрация гидроокиси лития в растворе не может быть выше 38 г/л., следовательно, даже в оптимальных условиях каустификации можно получить только разбавленные растворы гидроокиси. В настоящее время каустификация является единственным промышленным способом получения гидроокиси лития и используется на всех заводах, производящих литиевые соли [5, 7, 9].

Наиболее подробно описано получение моногидрата гидроксида лития на заводе в Миннеаполисе (США) [10]. Принципиальная технологическая схема процесса изображена на рисунке 1. Исходным продуктом при каустификации является влажный карбонат лития, полученный на заводе из сподумена по сернокислотной схеме. Карбонат лития и гидроокись кальция замешиваются в реакторах; известь берется в количестве 105% от теоретически необходимого. Общее количество загружаемых твердых материалов зависит от концентрации лития в растворе для замешивания. Обычно используется раствор после промывки осадка углекислого кальция от предыдущей загрузки.

Реагирующие вещества тщательно перемешиваются и нагреваются паром до кипения. По окончании процесса пульпе дают отстояться, и осветленный раствор декантируется в бак для хранения. Крепкий раствор едкого лития содержит от 28,7 до 35,9 г/л LiOH . Шлам, состоящий в основном из карбоната кальция, подвергается трехстадийной противоточной промывке для до извлечения из него лития. После третьей промывки жидкий шлам с незначительным содержанием лития перекачивается в резервуар и периодически используется для нейтрализации растворов в процессе получения карбоната лития.

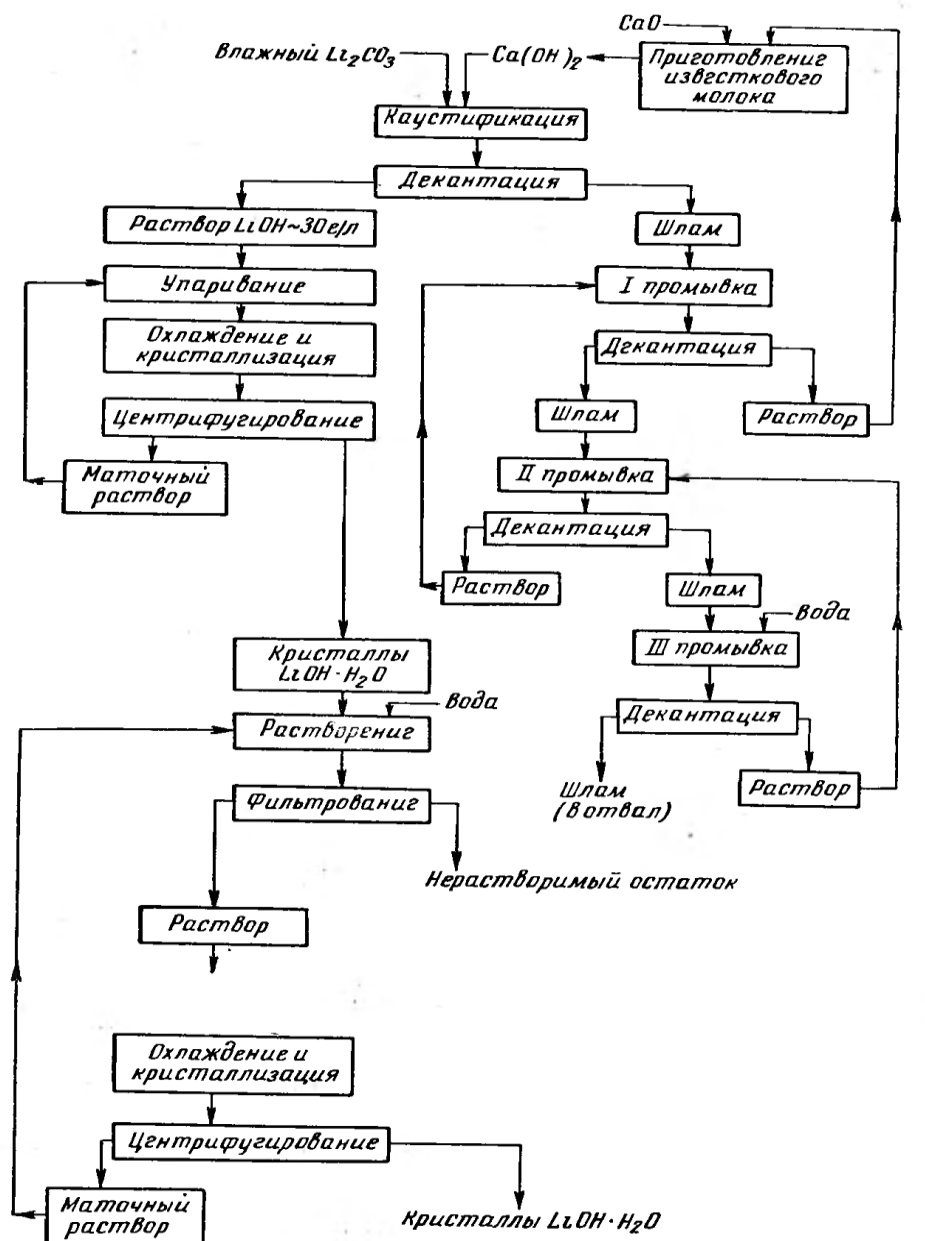


Рисунок 1 – Технологическая схема получения гидроксида лития каустификацией.

Основной раствор упаривается в однокорпусном выпарном аппарате с вертикальными трубами до содержания 166,6 г/л LiOH. Конец упаривания определяется по анализу пробы раствора на содержание едкого лития. Концентрированный раствор перекачивается в кристаллизатор - стальной бак, снабженный внутренним змеевиковым холодильником, где температура раствора понижается со 100 до 40°. Охлаждение длится около 8 часов.

Охлаждение до более низкой температуры не увеличивает выхода кристаллов. Гидроокись выделяется из раствора в виде моногидрата $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Кристаллы моногидрата вместе с маточным раствором подаются на центрифугу, где отжимаются в течение 15 мин. Маточный раствор возвращается в выпарной аппарат. Первичные кристаллы содержат некоторое количество извести и другие примеси, поэтому их перечищают повторной кристаллизацией. Кристаллы растворяют при нагревании в маточном растворе от предыдущей кристаллизации до получения раствора гидроокиси лития концентрацией 166,6 г/л при 100°C. Для обесцвечивания в раствор добавляют небольшое количество газовой сажи, которая затем вместе с гидроокисью кальция отделяется на фильтр прессы. Фильтрат поступает на вторичную кристаллизацию.

Кристаллизаторы для вторичной кристаллизации изготовлены из нержавеющей стали, оборудованы змеевиками для охлаждения и механическими мешалками. Кристаллы отделяются от маточного раствора на центрифуге.

Общая суточная производительность установки на заводе в Миннеаполисе составляет около 1000 кг моногидрата едкого лития. Процесс каустификации дает выход лития в готовый продукт до 90%. Перекристаллизованный моногидрат едкого лития должен удовлетворять техническим условиям, приведенным в таблица 2.

Для сравнения в таблице приведены технические условия МЦМ СССР—4719—55 г. на литий едкий аккумуляторный. -

Примером аппаратного оформления производства гидроокиси лития методом каустификации может служить схема цепи аппаратов на заводе в Бессемер-Сити, приведенная на рисунок 2.

Таблица 2 – Технические условия на $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$

	Содержание, %									
	LiOH	CO ₂	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	NaOH	Fe ₂ O ₃	CaO	Сумма тяжелы	MgO	Нераств оримый
ТУ США	55,0	0,2	0,05	0,003	0,05	0,005	0,08	–	–	0,01
ТУ МЦМ СССР – 4719 – 55г	53,0	3,0	0,40	0,010	–	0,050	0,15	0,01	0,01	–

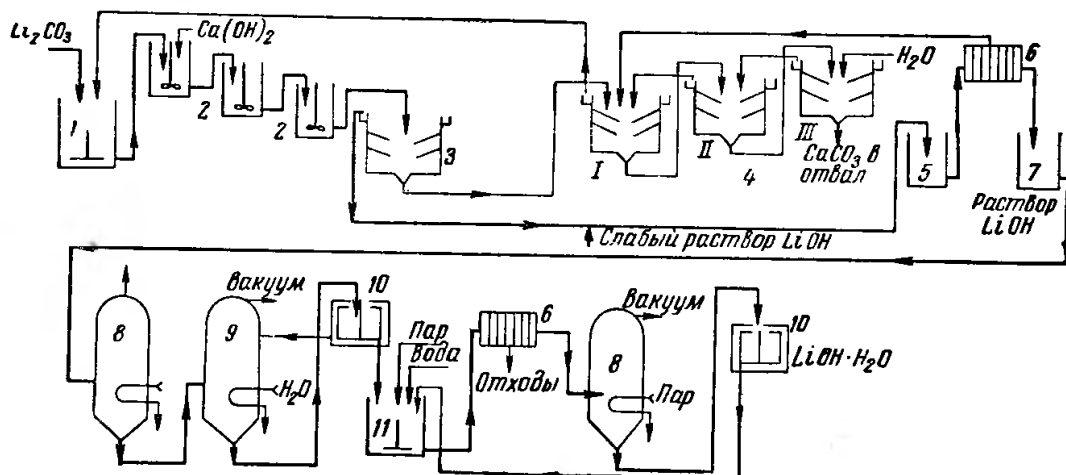
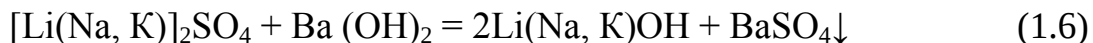


Рисунок.2 – Аппаратурная схема получения моногидрата гидроксида лития каустификацией.

На литиевом заводе в Чехословакии [10] каустификация углекислого лития известью несколько отличается от практики завода в Миннеаполисе (США). Исходным материалом является водная пульпа углекислого лития, которая в горячем виде обрабатывается известковым молоком. Количество промывок известкового шлама сокращено до двух. Декантация при промывках заменена фильтрованием, за счет чего повышено извлечение лития. Гидроокись лития после упаривания и кристаллизации содержит CaO более 0,2% и SO_4 более 1,2%. Для уменьшения содержания сульфат-иона в кристаллах моногидрата едкого лития в процессе каустификации можно

добавлять рассчитанное количество гидроокиси бария; процесс идет по реакции:



Одним из существенных недостатков метода каустификации являются высокие требования, предъявляемые к чистоте исходных продуктов. Углекислый литий должен содержать минимальное количество примесей, особенно хлоридов. Известь также должна быть очень чистой и по возможности не должна содержать алюминия, так как в щелочной среде возможно образование труднорастворимого алюмината лития, что приводит к большим безвозвратным потерям лития.

При каустификации могут быть получены растворы, содержащие не более 36 г/л LiOH, следовательно, упаривание растворов для кристаллизации моногидрата едкого лития необходимо во всех случаях. Выход лития в готовый продукт не превышает 90%.

Указанные недостатки снижают ценность метода каустификации, однако, несмотря на это ОАО «КХМЗ», ранее производивший гидроксид лития из сподуменовых концентратов, в конце 90-х годов прошлого столетия вынужден был перейти на переработку чилийского карбоната данным способом, максимально используя существующее оборудование. Для увеличения концентраций LiOH в системе и повышения чистоты получаемого LiOH $\cdot$ H₂O предложено вместо извести использовать более растворимое соединение – гидрат окиси бария [11]. Однако, данный метод, во-первых, не исключает в полной мере недостатки, характерные для известкового способа, во-вторых, не позволяет обеспечить более высокие технико-экономические показатели ввиду высокой стоимости Ba(OH)₂.

1.2 Вакуум-термическое восстановление оксида лития

Вакуум-термическое восстановление окиси лития проводят кремнием или алюминием в присутствии окиси кальция, которая связывает SiO_2 и Al_2O_3 образующиеся в результате реакций, и тем самым предотвращает непроизводительный расход Li_2O_3 .

Исходную Li_2O получают из Li_2CO_3 путем прокаливания в вакууме при 850°C брикетированной смеси Li_2CO_3 и CaO с весовым соотношением компонентов 1: 1,5. Добавление CaO к карбонату лития предотвращает расплавление последнего и облегчает тем самым выделение CO_2 [12]. Иногда для получения Li_2O применяют прокаливание в вакууме смеси, содержащей: LiOH – 50. Li_2CO_3 – 15 и H_2O – 35 % [6]. Смесь Li_2O и CaO измельчают до 100 меш. брикетируют вместе с порошкообразным кремнием, взятым с 10% избытком по сравнению со стехиометрическим количеством, отвечающим реакции образования ортосиликата кальция, и нагревают в вакууме (0.001 мм рт. ст.) при температуре $950\text{—}1000^\circ\text{C}$. Металлический литий возгоняется из реакционной смеси и собирается в конденсаторе. Выход лития составляет свыше 75%. а основными примесями в металле являются кремний (0.01 %) и кальций (0.04 %). При увеличении нагрева шихты до 1300°C выход литий возрастает до 93% [12].

При использовании в качестве восстановителя порошкообразного алюминия высокий выход металлического лития возможен при более низких температурах нагрева шихты [12].

Последнее время с целью удешевления производства металлического лития началось изучение возможности использования в качестве восстановителя углерода [13]. Установлено, что при восстановлении Li_2O углеродом при температуре от 1200 до 1300°C и остаточном давлении от 0.1 до 0.2 мм рт. ст. карбид лития не образуется, а протекает реакция 7



При проведении этого процесса необходимо соблюдать строгий температурный режим, так как при температуре ниже 800°C может иметь место взаимодействие выделяющейся СО с литием. Поэтому во избежание окисления металла рекомендуют [12] быструю конденсацию его пара в конденсаторах небольшого объема, но с высокоразвитой поверхностью.

Недостатком данного метода является низкая степень разложения Li_2CO_3 . Которая не позволяет реализовать данный метод в промышленном масштабе. В поисках новых методов конверсии Li_2CO_3 в LiOH на ОАО «НЗХК» был проведен комплекс научно-исследовательских работ по использованию плазменного метода разложения карбоната лития, с помощью которого можно существенно повысить степень его диссоциации. Однако несмотря на ряд достоинств очень большим недостатком данного метода является отсутствие возможности очистки карбоната лития от примесей, практически конгруэнтно переходящих в раствор LiOH вместе с Li_2O , что не позволяет получать продукт высокой степени чистоты.

1.3 Электролитические методы переработки

Способ получения гидроксида лития, основанный на электролизе водных растворов солей лития на ртутном катоде. Согласно данному способу при электролизе водных растворов солей щелочных металлов из-за высокого перенапряжения водорода на ртутном катоде выделяется щелочной металл с образованием амальгамы, при разложении которой получают раствор гидроксида щелочного металла. Основным достоинством электролиза на ртутном катоде является высокая чистота получаемого раствора LiOH , практически свободного от ионов Na^+ и K^+ . Кроме того, данный процесс мог бы органично вписаться в существующее на ОАО «НЗХК» производство, традиционно использующее электролиз с ртутным катодом. Однако, все предпринимаемые попытки использовать данный метод для конверсии Li_2CO_3 в LiOH не привели к положительным результатам из-за низкой растворимости

карбоната лития (12,6 г/л при 25 °С [13]), которой обусловлены, во-первых, высокая степень разложения образующейся амальгамы и низкий выход целевого продукта, во-вторых, повышенное выделение водорода и связанная с этим высокая взрывоопасность процесса, в третьих, крайне низкая устойчивость в этих средах традиционно применяемых на данном производстве никелевых анодов.

Другой разновидностью электрохимического способа получения гидроксида лития из его солей является электродиализ и электролиз с использованием ионообменных мембран (мембранный электролиз). В литературе описано большое количество вариантов осуществления электрохимических процессов с использованием ионообменных мембран при наложении электрического поля [14–18]. Основные достоинства мембранного метода – экологическая чистота, высокое качество получаемых продуктов, удобство при эксплуатации, малые производственные площади. Кроме того, в сравнении с амальгамным методом существенно снижается взрывоопасность процесса. Мембранный электролиз позволяет получать достаточно чистые гидроокиси, чего невозможно добиться известковым методом [15]. Из этого следует, что получение гидроксида лития из карбоната электромембранным способом является весьма привлекательным.

В работе [16] описан способ получения раствора гидроксида лития из твердых карбонатсодержащих литиевых отходов путем их контакта с водой, отстаивания образующейся пульпы, декантации осветленной жидкой фазы с последующей ее фильтрацией и рециркуляцией полученного литийсодержащего раствора через центральную камеру трехкамерного электродиализатора с получением в катодной камере раствора гидроксида лития, в анодной камере – раствора из смеси кислот, в центральной камере – обессоленной жидкости, возвращаемой на операцию контакта твердых карбонатсодержащих литиевых отходов с водой. Недостатками данного способа являются низкая концентрация гидроксида лития в получаемом щелочном растворе (не более 25 кг/м³), низкая производительность процесса

вследствие невысокой плотности тока (до 200 А/м^2), высокие удельные энергозатраты из-за низкой концентрации лития в растворе, обусловленные низкой растворимостью карбоната лития. Кроме того, использование трехкамерной электролизной ячейки усложняет конструкцию аппарата и увеличивает число насосов. Последнего недостатка лишен способ, описанный в работе [17] и основанный на проведении электрохимического процесса в двухкамерном электролизере с катионообменной мембраной, свинцовым анодом и железным катодом. Благодаря использованию катионообменной мембраны, селективно пропускающей только катионы, мембранным электролизом можно получить достаточно чистый (по анионам) гидроксид лития из Li_2CO_3 . Однако и для данного способа характерны ограничения по интенсификации процесса и значительные энергозатраты из-за низкой растворимости карбоната лития в воде.

1.3 Теория выбранного процесса

1.3.1 Общие сведения

В процессе производства лития-7 гидроксида моногидрата происходит образование и накопление литийсодержащих осадков. Это обусловлено как технологическими особенностями процесса, так и химическими свойствами растворов гидроксида лития. При контакте раствора с воздухом происходит образование труднорастворимого карбоната лития, который накапливается во всем емкостном оборудовании. Для дальнейшей переработки особую ценность представляют осадки, образующиеся на конечной стадии производства, ввиду содержания высокообогащенного лития-7 с изотопной концентрацией более 99,95 %.

Классическим способом перевода карбоната лития в его гидроксид является каустификация с использованием оксида или гидроксида кальция. Применимость этого способа в данном случае ограничена: во-первых, безвозвратными потерями лития-7 до 15 – 20 % от исходного содержания в отходах; во-вторых, образованием еще большего количества отходов относительно количества осадков, требующих утилизации и, в-третьих, для получения гидроксида лития-7 прежнего химического состава, потребуется дополнительная очистка от накопленных в осадках примесей и, возможно, кальция. Хотя в настоящее время содержание кальция не является контролируемым, но нельзя исключать возможность его появления в требованиях спецификации к контрактам после проведения аудита технологии потребителем.

В разрабатываемой технологии предлагается извлекать литий из осадков в растворимое соединение хлорида или сульфата с последующей конверсией полученных растворов в раствор гидроксида лития с применением электромембранных процессов. На стадии кислотного выщелачивания достигается практически полный перевод лития из осадков в раствор, при этом значительно сокращается количество осадков. После исследования конверсии

литийсодержащих растворов в его гидроксид методами электролиза и электродиализа с применением ионообменных мембран МК–40 и МА–40, будет предложен наиболее оптимальный вариант реализации данной технологии.

1.3.2 Классификация литийсодержащих осадков

В процессе производства гидроксида лития-7 было накоплено 56 столитровых контейнеров с осадками. Для идентификации осадков провели отбор проб и анализ на содержание изотопа лития-7 с целью оценки перспективы дальнейшей переработки. Результаты представлены в сводной таблице 3.

Таблица 3 – Содержание изотопа Li-7 в осадках

Дата отбора	Наряд	Li-7, а.д. %	Дата отбора	Наряд	Li-7, а.д. %	Примечание
04.04.2014	1	99,958	28.04.2014	29	93,93	прир (усл-но)
04.04.2014	2	99,957	28.04.2014	30	99,956	
04.04.2014	3	99,965	12.05.2014	31	99,9	99-99,9
04.04.2014	4	99,965	12.05.2014	32	95,6	95-98,7
04.04.2014	5	99,961	12.05.2014	33	99,958	
10.04.2014	6	99,966	12.05.2014	34	92,44	природный
10.04.2014	7	99,961	12.05.2014	35	99,88	99,0-99,9
10.04.2014	8	99,963	12.05.2014	36	96,88	95,0-98,7
10.04.2014	9	99,964	12.05.2014	37	96,23	95,0-98,7
10.04.2014	10	99,961	12.05.2014	38	92,53	природный
14.04.2014	11	99,22	12.05.2014	39	99,928	99,9-99,95
14.04.2014	12	99,959	12.05.2014	40	99,85	99-99,9
14.04.2014	13	99,964	19.05.2014	41	99,96	

Продолжение таблицы 3

14.04.2014	14	99,956	19.05.2014	42	99,95	99,9-99,95
14.04.2014	15	99,952	19.05.2014	43	99,95	99,9-99,95%
22.04.2014	16	99,957	19.05.2014	44	99,97	
22.04.2014	17	99,96	19.05.2014	45	99,95	99,9-99,95
22.04.2014	18	99,96	19.05.2014	46	99,97	
22.04.2014	19	99,96	19.05.2014	47	99,96	
22.04.2014	20	99,96	19.05.2014	48	99,96	
28.04.2014	21	99,96	19.05.2014	49	96,06	95,0-98,7
28.04.2014	22	96,63	19.05.2014	50	98,68	95,0-98,7
28.04.2014	23	99,954	26.05.2014	51	99,956	
28.04.2014	24	99,957	26.05.2014	52	99,962	
28.04.2014	25	99,965	26.05.2014	53	99,96	
28.04.2014	26	99,962	26.05.2014	54	99,89	99,0-99,9
28.04.2014	27	99,954	26.05.2014	55	99,967	
28.04.2014	28	99,959	26.05.2014	56	97,87	95,0-98,7

В данной таблице в графе Примечание отходы классифицированы по диапазонам полимерного содержания. В случае пустых ячеек содержание Li-7 составляет более 99,95 а.д. %, и данные отходы представляют наибольший интерес для дальнейшей переработки.

В таблице 4 приведено количество контейнеров с осадками, сгруппированными по близкому изотопному составу.

Таблица 4 – Классификация литийсодержащих осадков.

Диапазон содержания Li-7, а.д. %	Количество контейнеров
< 95,0 (природный)	3
95,0-98,7	7
99,0-99,9	5
99,9-99,95	4
> 99,95	37
ВСЕГО:	56

Таким образом, осадки в 37 из 56 контейнеров содержат литий с изотопной концентрацией более 99,95 % и 4 контейнера - с изотопной концентрацией 99,9-99,95 а.д. %.

Извлеченный из данных осадков литий в виде гидроксида может быть без дополнительной операции изотопного разделения вовлечен в производство товарного лития-7 гидроксида моногидрата.

Еще 12 контейнеров содержат литий с изотопной концентрацией Li-7 95,0-99,9 а.д. %. Извлечение лития из данных осадков также целесообразно, поскольку полученные из них растворы гидроксида лития-7 будут востребованы для подпитки массообменного агрегата.

После перемещения производства моногидрата гидроксида лития-7 было накоплено еще около пятидесяти 65 – литровых бочек литийсодержащих осадков. Поскольку данные осадки идентифицированы (имеют ярлыки), то анализ на содержание полимера не проводили. Данный анализ предполагается проводить выборочно на стадии переработки.

В итоге суммарно накоплено 106 контейнеров и бочек с литийсодержащими осадками. Оценочно количество лития-7 в них составляет примерно 500 кг. Ежегодно (за одну кампанию работы одного агрегата) накапливается осадков, содержащих около 50 кг лития-7.

1.3.3 Водное выщелачивание

Поскольку в перерабатываемых осадках литий присутствует в виде карбоната и, в меньшей степени, в виде гидроксида, то была проведена оценка целесообразности проведения операции водного выщелачивания с целью получения раствора гидроксида лития. Данная операция может позволить сократить расход реагента для последующего кислотного выщелачивания, а полученный раствор гидроксида лития будет востребован для корректировки pH растворов при проведении операции их химической очистки.

Для проведения водного выщелачивания осадки распульповывали в дистиллированной воде при отношении $T : Ж = 1 : 5$. Процесс вели при перемешивании в нормальных условиях в течение 6 часов, не растворившиеся осадки отделяли на вакуумной воронке.

Практический интерес для проведения водного выщелачивания представляют только те осадки, в которых изначально высокое содержание гидроксида лития. Из таких осадков можно получить растворы с концентрацией щелочи более 1 г-экв/л, что существенно снизит расход реагента при последующем кислотном выщелачивании.

1.3.4 Кислотное выщелачивание и химическая очистка растворов

Кислотное выщелачивание проводили путем распульповки осадков в небольшом количестве дистиллированной воды при отношении $T : Ж = 1 : 1-3$ в зависимости от исходного влагосодержания осадков. При постоянном перемешивании в полученную суспензию добавляли расчетное количество концентрированной кислоты до прекращения выделения углекислого газа. Далее растворы перемешивали в течение двух часов и фильтровали от не растворившихся осадков на вакуумной воронке. Для проведения химического осаждения к полученным растворам добавляли раствор гидроксида лития до достижения pH среды 8 ед. В качестве коагулянта для лучшей последующей

фильтрации к исходным растворам добавляли семиводный сульфат никеля из расчета 1 г реактива на 1 л раствора. После нагрева до 90 – 95 °С растворы перемешивали в течение часа, после чего охлаждали до температуры 60 – 70 °С и фильтровали на вакуумной воронке.

Операция химического осаждения позволяет эффективно провести очистку растворов от примесей группы железа, что важно для последующей конверсии растворов, поскольку данные примеси являются «ядами» для мембран. При этом одновременно и эффективно отделяются примеси алюминия, кремния и цинка.

Последующую конверсию лития-7 в раствор его гидроксида проводили с применением мембранных процессов электролиза и электродиализа.

1.3.5 Конверсия литийсодержащих отходов в раствор гидроксида лития

Конверсию литийсодержащих растворов в раствор гидроксида лития проводили методами электролиза и электродиализа.

В случае электролиза применяли двухкамерный аппарат, в котором в качестве селективной перегородки использовали катионитовую мембрану МК-40 (рисунок 3). В анодную камеру в режиме циркуляции подавали литийсодержащий раствор, а через катодную камеру циркулировал раствор гидроксида лития, который в процессе электролиза обогащался по содержанию лития. По мере обеднения анолита по содержанию лития происходит его подкисление с образованием серной или соляной кислоты.

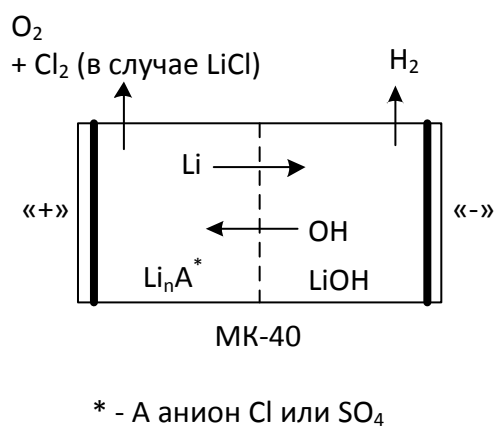


Рисунок 3 – Схематическое изображение работы двухкамерного мембранного электролизера.

При электродиализе использовали аппарат, состоящий из трех камер (рисунок 4). Исходный раствор циркулировал через среднюю камеру, которая от анодной камеры отделялась анионитовой мембраной МА-40, а от катодной – катионитовой мембраной МК-40. При включении электрического тока литий из средней камеры переносится в катодную камеру, в которой образуется раствор гидроксида лития. В анодную камеру переносится анион, в которой, происходит образование серной кислоты. В центральной камере происходит снижение общего солесодержания за счет преимущественного протекания процессов переноса катионов лития в катодную камеру, а анионов сульфатов – в анодную камеру.

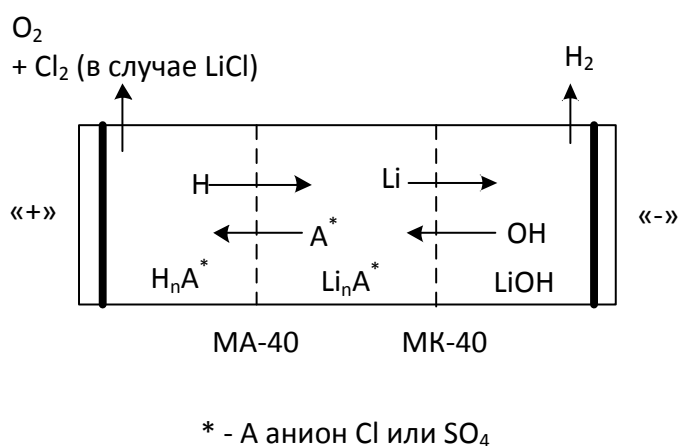


Рисунок 4 – Схематическое изображение работы трехкамерного электродиализатора.

В процессе конверсии задавали величину тока на аппаратах, при этом контролировали напряжение на их шинах электродиализатора, концентрацию и объемы рабочих растворов, время процесса. В результате оценивали выход гидроксида лития по току, степень извлечения лития и состав получаемых растворов гидроксида лития.

1.3.6 Конверсия лития из растворов сульфата лития

Для оценки принципиальной возможности применять электролиз растворов сульфата лития для получения кондиционных растворов гидроксида лития эксперименты проводили на модельных растворах сульфата лития, полученные из высокочистого карбоната лития и серной кислоты.

Из недостатков данного процесса можно отметить необходимость рециркуляции отработанного анолита из-за высокого содержания в нем лития. Избыточную кислотность можно нейтрализовать новой порцией отходов или раствором гидроксида лития, полученного после водного выщелачивания. После химического осаждения примесей полученный раствор можно повторно использовать при электролизе. При реализации такой схемы как минимум половина лития будет возвращаться в начало процесса, что снижает в целом удельную производительность. При этом в растворе анолита будут накапливаться примеси анионов.

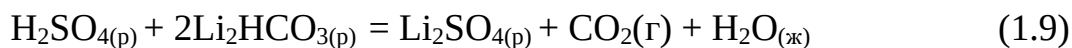
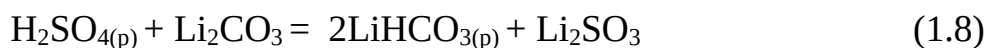
Данные недостатки можно устранить при реализации для указанных целей процесса электродиализа растворов сульфата лития. Для этого был использован трехкамерный электродиализатор с катионообменной мембраной МК-40 и анионообменной - МА-40.

Для электродиализа использовали растворы после выщелачивания и химической очистки, состав которых был приведен ранее в таблице 3. Рабочий раствор подавали в среднюю камеру аппарата. Через анодную камеру циркулировала серная кислота, через катодную - раствор гидроксида лития. В процессе электродиализа рабочий раствор, циркулирующий через среднюю

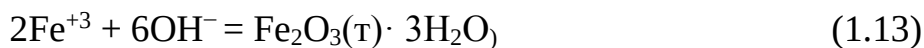
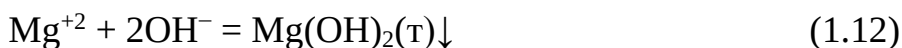
камеру, обедняется по литию и сульфат-иону, а концентрация кислоты и щелочи в анолите и католите соответственно увеличиваются.

1.4.1 Химизм процесса

Согласно предлагаемой химической схеме малорастворимый карбонат лития переводят в раствор сульфата лития при его взаимодействии с H_2SO_4 по реакциям 1.8 и 1.9



При этом наряду с литием в растворимое состояние из технического карбоната лития будут переходить также примесные компоненты и присутствовать в растворе Li_2SO_4 в виде катионов и анионов (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , Fe^{+3} , SiO_3^{-2} , Cl^-). Поэтому перед подачей раствора сульфата лития на электрохимическую конверсию его необходимо подщелачивать до $\text{pH}=11\dots12$ для осаждения этих примесей в виде нерастворимых соединений, образующихся по реакциям (1.10–1.16)



Очищенный таким образом раствор Li_2SO_4 после фильтрации подают в анодную камеру электролизёра. В процессе электролиза на аноде происходит электрохимическое окисление воды с образованием по реакции (1.17) газообразного кислорода и ионов H^+ .



Смесь раствора сульфата лития и анодообразующейся по реакции (1.18) серной кислоты возвращают на стадию воспроизводства рабочего сульфатного раствора путём нейтрализации серной кислоты карбонатом и бикарбонатом лития по реакции (1.8) и (1.9).



В катодное пространство подают разбавленный раствор LiOH , где на катоде происходит реакция электрохимического восстановления воды с образованием газообразного водорода и ионов OH^- по реакции (1.19)



Катионообменная мембрана, разделяющая катодное и анодное пространства электролизера, в силу своих свойств обеспечивает под действием электрического поля беспрепятственный перенос катионов (преимущественно катионов лития в виду их высокого содержания) из анодного пространства электролизера в катодное и исключает перенос анионов. Благодаря этому в катодной камере концентрируется достаточно чистый раствор LiOH по реакции 1.20.

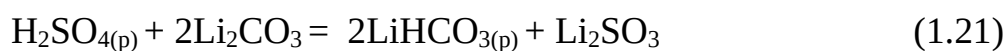


1.4.2 Термодинамика процесса получения гидроксида лития

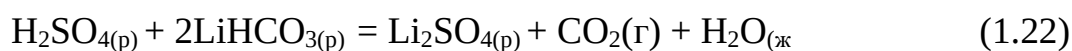
О направлении процесса при постоянном давлении и температуре судят по энергии Гиббса. Энергия Гиббса уменьшается ($\Delta G < 0$) при необратимых процессах и остаётся постоянной ($\Delta G = 0$) при обратимых [].

Процесс кислотного выщелачивания протекает согласно следующей реакции, идущей в две стадии:

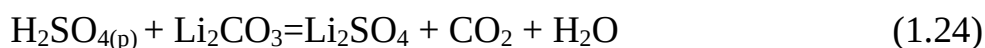
- 1) Приготовление комплексного соединения идет по реакции (1.21):



- 2) Получение раствора сульфата лития идет по реакции (22):



Для упрощения расчетов примем, что процесс кислотного выщелачивания протекает по следующей реакции (23):



Процесс диализа водного раствора сульфата лития протекает согласно основным и побочным реакциям. Основные реакции (1.18). и (1.20) протекают с образованием гидроксида лития в катодной камере и серной кислоты в анодной камере и побочные реакций (1.17) и (1.19).

Стандартные энтальпии и энтропии образования, энергии Гиббса и теплоемкости веществ, участвующих в реакции, приведены в таблице 5

Таблица 5 – Стандартные энтальпии и энтропии образования, энергии Гиббса и теплоемкости соединений при температуре 298K [22]

Вещество	ΔH° , кДж/моль	ΔS° , кДж/(моль·K)	ΔG° , кДж/моль	C_p , Дж/(моль·K)
Li ₂ CO ₃	-1216	0,09016	-1132,67	97,47
Li ₂ SO ₄	-1435,86	0,114	-1321,28	117,6
H ₂ SO ₄	814,2	0,1569	-690,3	138,89
H ₂ O	-285,829	0,0708	-237,245	75,299
LiOH	-484,9	0,0428	-439	49,58
O ₂	0	0,2051	0	29,35
CO ₂	-393,51	0,21367	-394,38	37,22
H ₂	0	0,1305	0	28,83

Расчет энтальпии $\Delta H_{x.p.}^0$, энтропии $\Delta S_{x.p.}^0$, энергии Гиббса $\Delta G_{x.p.}$ проводили по формулам:

$$\Delta H = \sum \nu_{np} \Delta H_f^{np} - \sum \nu_{исх} \Delta H_f^{исх}, \quad (1.25)$$

где $\sum \nu_{np} \Delta H_f^{np}$ – сумма теплот образования продуктов реакции, кДж/моль;

$\sum \nu_{исх} \Delta H_f^{исх}$ – сумма теплот образования исходных веществ, кДж/моль;

ν_{np} и $\nu_{исх}$ – стехиометрические коэффициенты продуктов реакции и исходных веществ соответственно [21].

$$\Delta S = \sum \nu_{np} S_f^{np} - \sum \nu_{исх} S_f^{исх}, \quad (1.26)$$

где $\sum \nu_{np} S_f^{np}$ – сумма энтропий продуктов реакции, кДж/(моль·K);

$\sum \nu_{исх} S_f^{исх}$ – сумма энтропий исходных веществ, кДж/(моль·K).

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (1.27)$$

где ΔG – изменение энергии Гиббса, кДж/моль;

ΔH – тепловой эффект реакции, кДж/моль;

ΔS – изменение энтропии реакции, кДж/(моль·К).

Результаты расчетов термодинамических параметров, таких как $\Delta H^0_{\text{х.р.}}$, $\Delta S^0_{\text{х.р.}}$, $\Delta G_{\text{х.р.}}$, представлены в таблице 6:

Таблица 6 – Результаты расчетов термодинамических величин

№	Реакция	$\Delta G(\text{кДж})$	$E_{\text{раз}}(\text{В})$
1	$\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{p})} + \text{Li}_2\text{CO}_3 = \text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-1101.66	2,87
2	$\text{Li}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{LiOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\uparrow$	-1660,1	4,36

3 Расчет и аналитика

3.1. Описание технологической схемы.

Из рассмотренных вариантов переработки литийсодержащих осадков в растворы гидроксида лития наиболее предпочтительным является вариант с сульфатным вскрытием осадков и последующим получением гидроксида лития с применением электролиза. При этом, в отличие от хлоридного вскрытия, на стадии мембранного процесса получают растворы гидроксида лития, пригодные для получения товарного гидроксида лития-7. Кроме того, в случае применения сульфатной схемы не требуется очистка анодного газа от хлора. Предлагаемая схема переработки литийсодержащих осадков представлена на рис. 5.

Схема включает в себя следующие основные операции: водное выщелачивание, кислотное выщелачивание, химическую очистку растворов и электролиз. Образующийся на стадии водного выщелачивания раствор гидроксида лития используется при последующей химической очистке растворов сульфата лития. Серная кислота, которая образуется в анодной камере электролизатора, возвращается в процесс на стадию кислотного выщелачивания.

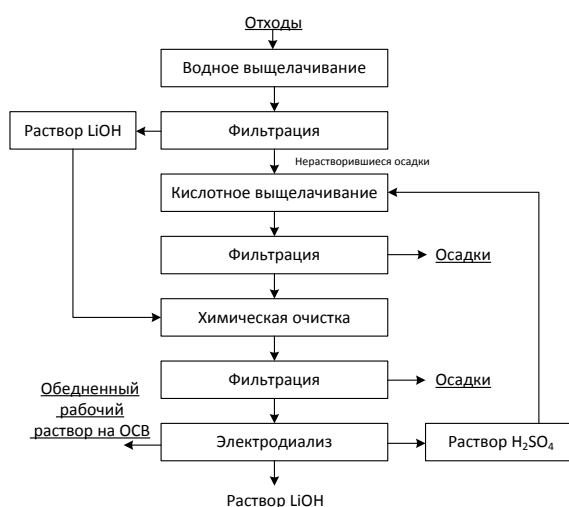


Рисунок 5. – Схема переработки литийсодержащих осадков

Осадки, образующиеся после кислотной обработки и химической очистки, отделяются на фильтре и выводятся из процесса. Обедненный по содержанию лития рабочий раствор сульфата лития после электродиализа передается на участок очистки сточных вод. В случае низкого содержания в осадках лития, присутствующего в форме гидроксида, операцию водного выщелачивания исключают из техпроцесса.

Предлагаемая схема цепи основных аппаратов участка переработки литийсодержащих осадков представлена на рисунке 4.

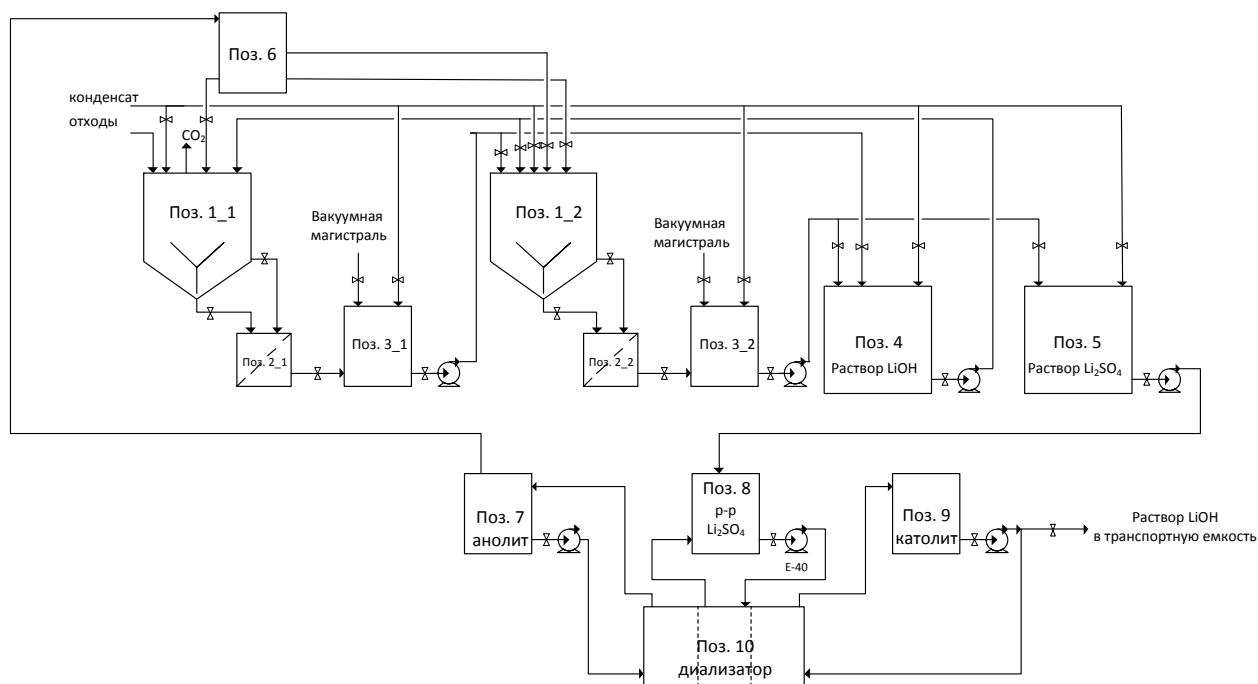


Рисунок 6 – Схема цепи аппаратов участка переработки литийсодержащих осадков

В реакторе (позиция 1-1) на первом этапе проводят водное выщелачивание лития из осадков, для чего осадки распульповывают в конденсате при отношении $T : Ж = 1 : 3-5$. Количество добавляемой воды главным образом зависит от начальной влажности осадков. После перемешивания суспензии в течение 6-12 часов (концентрация лития выходит на насыщение) мешалку отключают и раствор отстаивают. Осветленную часть раствора через боковой патрубок сливают на нутч-фильтр (позиция 2-1) и

через вакуумную ловушку (позиция 3-1) передают в накопительную емкость (позиция 4). К оставшемуся осадку в реакторе (позиция 1-1) добавляют небольшое количество воды $T : Ж = 1 : 1$, при включенной мешалке и порционной подаче кислоты из питающей емкости (позиция 6) проводят реакцию нейтрализации карбоната лития серной кислотой. При этом количество кислоты рассчитывают по исходному содержанию лития, присутствующему в отходах в виде карбоната. Процесс контролируют по величине pH среды, которая по окончании нейтрализации должна составлять 1-3 ед.

В процессе нейтрализации происходит, разогрев раствора за счет экзотермического эффекта и выделение углекислого газа. Выделение газа приводит к интенсивному пенообразованию, которое необходимо регулировать расходом подаваемой кислоты. По окончании нейтрализации раствор перемешивают еще 1-2 часа, и если значение pH сохраняется в требуемом диапазоне, то раствор сливают на нутч-фильтр (позиция 2-1). Отфильтрованный раствор через вакуумную ловушку (позиция 3-1) передают в реактор (позиция 1-2), в котором проводят химическое осаждение примесей. Для этого к раствору при перемешивании добавляют коагулянт – семиводный сульфат никеля - из расчета 1 кг реактива на 1 м³ раствора. Раствор нагревают до 90-95 °С и подачей раствора гидроксида лития из накопительной емкости (позиция 4) проводят корректировку pH среды в реакторе. Значение pH должно составлять 8-10 ед. При достижении заданного значения pH раствор перемешивают в течение одного часа, мешалку и нагрев отключают и после снижения температуры до 50-70 °С осветленную часть раствора сливают на нутч-фильтр (позиция 2-2). Далее раствор сульфата лития через вакуумную ловушку (позиция 3-2) передают в накопительную емкость (позиция 5). Полное опорожнение реактора позиция 1-2 для удаления осадков из конической части проводят после очистки 3-5 порций растворов.

Из накопительной емкости (позиция 5) раствор сульфата лития подают в питающую емкость (позиция 8), из которой данный раствор циркулирует

через среднюю камеру электродиализатора (позиция 10). В питающих емкостях (позиция.7) и (позиция 9) для первого запуска готовят растворы серной кислоты и гидроксида лития с концентрациями 0,1-0,2 г-эгв/л. Через питающую емкость (позиция.7) и анодную камеру циркулирует раствор H_2SO_4 , через питающую емкость (позицию 9) и катодную камеру циркулирует раствор $LiOH$. На диализаторе задают плотность тока 10 А/дм², при этом напряжение не должно превышать 10 В. В процессе электродиализа контролируют концентрацию рабочих растворов.

При достижении концентрации анолита 3 г-экв/л раствор серной кислоты в количестве 3/4 от общего объема передают в питающую емкость позиция 6, к оставшемуся раствору добавляют в таком же объеме конденсат. Аналогично поступают при достижении концентрации католита 2-3 г-экв/л, полученный раствор из питающей емкости (позиция 9) сливают в транспортную емкость и передают на кристаллизацию. Освободившийся объем компенсируют конденсатом не полностью, поскольку в процессе электродиализа происходит частичный перенос воды из средней камеру в камеру католита. Замену рабочего раствора проводят при достижении содержания лития менее 1 г/л, после чего отработанный раствор передают на участок очистки сточных вод.

3.2 Материальный расчет

3.2.1 Материальный баланс процесса диализного разделения

Материальный расчет ведем на основании закона сохранения массы веществ, т.е. $\sum$ масса веществ, вступивших в реакцию, соответственно равна $\sum$ массе веществ, которая получается в результате этой реакции:

$$\sum_{i=1}^n G_{\text{исх.}} = \sum_{i=1}^n G_{\text{прод.}}, \quad (3.1)$$

где G_i – массовый расход вещества, (кг/ч).

Исходные данные для расчета:

Производительность проектируемого участка 200 кг/год по Li;

Остановки на выходные дни (суббота и воскресенье) и праздники, производиться не будет, следовательно, участок будет работать 365 дней в году. Осуществляется две остановки на 10 и на 5 суток для зачистки оборудования и непредвиденного ремонта. Итого за год участок работает 350 дней.

Производительность за час:

$$G_{\text{час.}} = 200/350 = 23,809 \text{ г/час.}, \quad (3.2)$$

Найдем расход LiOH для получения 23,809 г/час Li

$$M(\text{LiOH}) = 24 \text{ г/моль} - M(\text{Li}) = 7 \text{ г/моль}$$

$$G(\text{LiOH}) = x - G(\text{Li}) = 23,809 \text{ г/час}$$

$$G(\text{LiOH}) = 81,632 \text{ г/час}$$

Расход вещества, участвующего в реакции, находим по формуле:

$$G_{\text{неизв.}} = \frac{G_{\text{изв.}} \cdot n_i \cdot M_{\text{неизв.}}}{n_j \cdot M_{\text{изв.}}}, \quad (3.3)$$

где $G_{\text{неизв.}}$ – неизвестный расход вещества, участвующий в реакции (кг/ч),

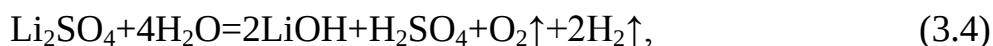
$G_{\text{изв.}}$ – известный расход вещества участвующий в реакции (кг/ч),

$M_{\text{изв.}}$ – молекулярная масса вещества, известного расхода,

n_i, n_j – стехиометрические коэффициенты.

Процесс диализа сульфата лития протекает согласно основным (1.17 – 1.19) и побочным (1.18 – 1.20) реакциям

Для упрощения расчетов примем, что процесс электродиализа протекает по следующему уравнению реакции:



$$G(\text{Li}_2\text{SO}_4) = \frac{81,632 \cdot 110}{48} = 187,073 \text{ г/час}, \quad (3.5)$$

$$G(\text{H}_2\text{O}) = \frac{81,632 \cdot 18 \cdot 4}{48} = 122,448 \text{ г/час}, \quad (3.6)$$

$$G(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{187,073 \cdot 98}{110} = 166,665 \text{ г/час}, \quad (3.7)$$

$$G(\text{O}_2) = \frac{187,073 \cdot 32}{110} = 54,421 \text{ г/час}, \quad (3.8)$$

$$G(\text{H}_2) = \frac{187,073 \cdot 4}{110} = 6,803 \text{ г/час}, \quad (3.9)$$

Таблица 7 – Материальный баланс стадии диализации сульфата лития.

Приход			Расход		
статьи	г/час	% масс.	статьи	г/час	% масс.
LiOH	81,632	26,37	Li ₂ SO ₄	187,073	60,44
H ₂ SO ₄	166,665	53,85	H ₂ O	122,448	39,56
O ₂	54,421	17,58			
H ₂	6,803	2,2			
Итого	309,521	100	итого	309,521	100

3.2.2 Материальный баланс процесса химической очистки и фильтрации

На стадии химической очистки, происходит удаление из раствора сульфата лития металлов, которые могут помешать более полному извлечению лития. После химической очистки проводят фильтрацию раствора с удалением осадка содержащего кремний, железо, алюминий и кальций. На стадии фильтрации теряем 2 % исходного раствора в виде осадков.

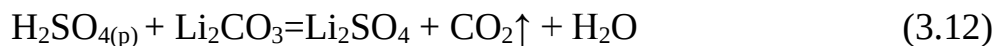
$$G (\text{Li}_2\text{SO}_4)_{\text{исх}} = \frac{187,073 \cdot 100}{98} = 190,92 \text{ г/час}, \quad (3.10)$$

В процессе фильтрации после кислотного выщелачивания, твердые осадки составляют 5% от исходного раствора Li_2SO_4

$$G (\text{Li}_2\text{SO}_4)_{\text{исх}} = \frac{190,92 \cdot 100}{95} = 200,97 \text{ г/час}. \quad (3.11)$$

3.2.3 Материальный баланс процесса кислотного выщелачивания

Найдем расход Li_2CO_3 для получения 200,97 г/час Li_2SO_4



$$G(\text{Li}_2\text{CO}_3) = \frac{200,97 \cdot 74}{110} = 135,2 \text{ г/час}, \quad (3.13)$$

$$G(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{200,97 \cdot 98}{110} = 179,01 \text{ г/час}, \quad (3.14)$$

$$G(\text{CO}_2) = \frac{135,2 \cdot 44}{74} = 80,39 \text{ г/час}, \quad (3.15)$$

$$G(\text{H}_2\text{O}) = \frac{135,2 \cdot 18}{74} = 32,89 \text{ г/час}. \quad (3.16)$$

Таблица 8 – Материальный баланс стадии кислотного выщелачивания

Приход			Расход		
статьи	г/час	% масс.	статьи	г/час	% масс.
Li ₂ SO ₄	200,97	26,37	Li ₂ CO ₃	135,2	60,44
H ₂ O	32,89	53,85	H ₂ SO ₄	179,05	39,56
CO ₂	80,39	17,58			
Итого	314,25	100	итого	314,25	100

3.2.4 Материальный баланс процесса водного выщелачивания

В процессе водного выщелачивания происходит отделение твердых карбонатных отходов от гидроксида лития. Так как содержание гидроксида лития в карбонатных отходах разное (от 5 до 30 %), примем среднее содержание гидроксида равным 15 %.

$$G(\text{LiOH}) = \frac{135,2 \cdot 15}{100} = 20,28 \text{ г/час.} \quad (3.11)$$

3.3 Тепловой баланс процесса диализа сульфата лития

Тепловой расчет двухкамерного мембранного электролизера проводят с целью определения температуры питающего рассола, обеспечивающей работу электролизера при температуре процесса, определяемой технологическими параметрами.

В некоторых случаях (при чрезмерно высоких или низких потерях тепла) при прохождении электрического тока через электролизер подогрева или охлаждения питающего рассола для обеспечения оптимальной температуры процесса может быть недостаточно. В этих случаях устанавливают теплообменники в циркуляционных контурах электролизера.

Для мембранного электролизера трехкамерного типа тепловой расчет проводится с целью определения температуры раствора (или воды), подаваемого в средние камеры, для обеспечения теплового баланса при заданной температуре процесса.

Тепло, выделяемое при прохождении электрического тока, расходуется на испарение воды из анолита (выходящей с кислород-газом);
испарение воды из каталита (выходящей с водород-газом);
нагрев питающих растворов до рабочей температуры электролиза;
потери тепла через стенки электролизера в окружающую среду.

Это тепло определяют из выражения:

$$Q_{эл} = I \cdot (U - E); \quad (3.12)$$

где I – токовая нагрузка (эквивалентная), кА;

U – напряжение на ячейке, В;

E – напряжение разложения соли (в условиях электролиза равно примерно 2,18 В).

$$Q_{эл} = 200 \cdot (6 - 2,38) = 724 \text{ кДж/ч.} \quad (3.13)$$

Тепло, расходуемое на испарение воды из анолита и содержащееся в кислород-газе, определяют из выражения (Вт):

$$Q_{вх} = 1,16 \cdot r \cdot G_1 = 1,16 \cdot 213 \cdot 0,0544 = 13,44 \text{ кДж/ч.} \quad (3.14)$$

где r – скрытая теплота парообразования, кДж/кг;

G_1 – количество воды, уносимой из электролизера с кислород-газом, кг/ч (определение этой величины описано выше).

Тепло, расходуемое на испарение воды из католита, и содержащееся в водород-газе, определяют из выражения (Вт):

$$Q_{вод} = 1,16 \cdot r \cdot G_2 = 1,16 \cdot 454 \cdot 0,0068 = 3,58 \text{ кДж/ч.} \quad (3.15)$$

где G_2 – количество воды, уносимой из электролизера с водород-газом (определение этой величины описано выше).

Тепло, расходуемое на нагрев питающего рассола до t_3 , определяют из выражения (Вт)

$$Q = 1,16 \cdot C_1 \cdot V_1 \cdot \rho_1 \cdot (t_3 - t_1) = 1,16 \cdot 117,6 \cdot 0,084 \cdot 2,22 = 1526 \text{ кДж/ч.} \quad (3.16)$$

где C_1 – теплоемкость питающего рассола, кДж/(кг·К);

V_1 – расход питающего рассола, м³/ч;

ρ_1 – плотность питающего рассола, кг/м³;

t_1 – температура питающего рассола, К.

3.4 Энергетический расчет

Определим статьи затрат электроэнергии на различные стадии процесса. Найдем теоритическую силу тока необходимую для получения 81,6г гидроксида лития в час:

$$m_{\text{теор}} = \frac{M \cdot I \cdot \tau}{z \cdot F} \quad (3.17)$$

Отсюда выразим силу тока:

$$I_{\text{теор}} = \frac{m \cdot z \cdot F}{\tau \cdot M} \quad (3.18)$$

где τ – время;

z – валентность;

M – атомная масса;

F – постоянная Фарадея;

$$I_{\text{теор}} = \frac{81.6 \cdot 1 \cdot 96500}{3600 \cdot 24} = 91,1 \text{ А/ч.} \quad (3.19)$$

Так как выход по току составляет 50%, тогда:

$$I_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{теор}}}{0,5} = 182,27 \text{ А/ч.} \quad (3.20)$$

Теперь найдем общее количество Ватт, затрачиваемых электролизатором на получение гидроксида лития.

$$P_{\text{общ}} = I_{\text{пр}} \cdot U_{\text{эл}} = 182,27 \cdot 8 = 1458,6 \text{ Вт/ч} = 1,46 \text{ кВт/ч.} \quad (3.21)$$

Где U – напряжение на диализаторе 8 В

Для проведения кислотного выщелачивания и химической очистки используются 2 реактора с мешалкой, приводы которых потребляют по 4 кВт/ч.

Так же для нагрева смеси при химической очистке и используются тэны общей мощностью 80 кВт/ч

Для циркуляции жидкости в диализаторе и подачи растворов на различные стадии процесса используются насосы химические Wilo PM-051NE мощностью 100Вт.

В результате энергетического расчета были определены затраты энергии основных стадий процесса, которые приведены в таблице (9).

Таблица 9 – Статьи расходов электроэнергии

Статьи расхода	Количество кВт/ч
На электродиализ	1,46
На перемешивание	8
На нагрев	80
На подачу веществ	0,7
Итого	90,16

3.5 Аппаратурный расчет

Расчет количества ванн и их габаритов.

При расчете электролизера исходят из заданной годовой производительности и намечаемой технической плотности тока. В первую очередь рассчитывают суммарную силу тока всех ванн или количество ампер – часов, которое нужно затратить в течение часа [20]:

$$\sum I = \frac{P \cdot 10^6}{365 \cdot 24 \cdot q \cdot \eta}, \quad (3.22)$$

Где P – годовая производительность цеха, т;

q – электрохимический эквивалент, $q = 0,31$ г/А-час;

η – коэффициент выхода по току, $\eta = 0,5$.

Получим:

$$\sum I = \frac{0,2 \cdot 10^6}{365 \cdot 24 \cdot 0,31 \cdot 0,5} = 334,2 \text{ А} - \text{час} / \text{час}. \quad (3.22)$$

Для подсчета количества электролизеров, задаются силой тока в электрической цепи:

$$N_B = \frac{\sum I}{I}, \quad (3.23)$$

Где I – сила тока в цепи, $I = 300$ А.

Тогда получим:

$$N_B = \frac{334,2}{300} = 1,1 \quad (3.24)$$

Принимаем количество электролизеров равным 1.

Напряжение в цепи $U_{\text{эл}}$ подсчитывают исходя из количества ванн и среднего напряжения на ванне при данной плотности тока:

$$U_{\text{эц}} = k \cdot N_B \cdot U_B, \quad (3.25)$$

Где U_B – напряжение на ванне, $U_B = 6 \text{ В}$;

k – коэффициент, учитывающий потери напряжения в общей ошиновке, $k = 1,1$.

Получим:

$$U_{\text{эц}} = 1,1 \cdot 1 \cdot 6 = 6,6 \text{ В}. \quad (3.26)$$

Суммарная площадь катодов в ванне определяется из выражения:

$$F = \frac{I}{D_k}, \quad (3.27)$$

где D_k – катодная плотность тока, $D_k = 0,15 \text{ А/см}^2$.

Получим:

$$F = \frac{300}{1500} = 0,2 \text{ м}^2. \quad (3.27)$$

Принимаем количество анодов и катодов = 1.

Так как используется 1 катод, тогда площадь катода равняется $0,2 \text{ м}^2$.

Катод имеет форму прямоугольника, его рабочая площадь будет равна $S = a \cdot b \cdot c$.

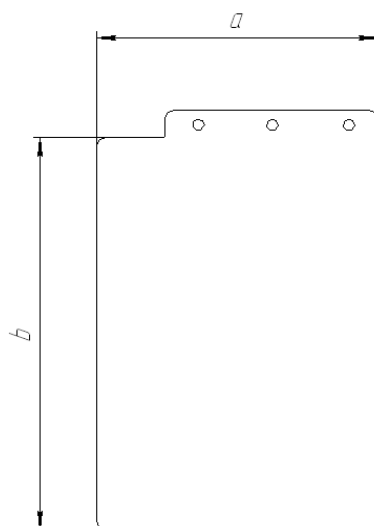


Рисунок 7 – Схематичное изображение катода с размерами.

Принимаем $a=0,66\text{м}$, $b=0,35\text{м}$, $c=0,01\text{м}$.

Таблица 10 – Размеры рабочей поверхности анода.

Ширина рабочей поверхности анода, м	0,66
Высота рабочей поверхности анода, м	0,35
Толщина рабочей поверхности анода, м	0,01

Плотность тока на аноде принимаем 1500А/м^2 :

$$S_a = \frac{300}{1500} = 0,2\text{м}^2 \quad (3.28)$$

Тогда площадь одного анода составит $0,2\text{м}^2$

Длина электролизера составляет:

$$L_B = n \cdot l_a + 2 \cdot l_b, \quad (3.29)$$

где l_a – расстояние между плоскостями симметрии анодов, $l_a = 7,5$ см;

l_b – расстояние между крайним анодом и торцевой стенкой ванны, $l_m = 3$ см;

n – количество анодов.

Получим:

$$L_B = 1 \cdot 7,5 + 2 \cdot 3 = 13,5\text{см} = 0,135\text{м}. \quad (3.30)$$

Высота ванны определяется по формуле:

$$H_B = h_K + h_{\text{верх}} + h_{\text{ниж}}, \quad (3.31)$$

где h_K – рабочая высота катода, $h_K = 0,6$ м;

$h_{\text{верх}}$ – расстояние от кромки катода до верхнего края борта ванны, принимаем равным 0,04 м;

$h_{\text{ниж}}$ – расстояние от нижней кромки катода до днища ванны, принимаем равным 0,04 м.

Получим:

$$H_B = 0,6 + 0,04 + 0,04 = 0,68 \text{ м.} \quad (3.32)$$

Ширина ванны ровняется:

$$D_B = l_c \cdot 2 + l_{\text{кат}} \cdot 2, \quad (3.33)$$

где l_c – расстояние от крайней точки катода в боковом положении до стенки ванны, принимаем равным 0,04 м.

$$D_B = 0,04 \cdot 2 + 0,4 = 0,48 \text{ м.} \quad (3.34)$$

Подбираем опоры для аппарата. Нагрузка действующая на опору, рассчитывается по формуле:

$$P = (m_{\text{да}} + m_p + m_{\text{ан}} + m_K) \cdot g, \quad (3.35)$$

Где $m_{\text{да}}$ – масса корпуса диализатора, кг;

$m_{\text{ан}}$ – масса анода, кг;

m_K – масса катода, кг;

m_p – масса раствора, кг.

Рассчитаем массу корпуса диализатора. Корпус состоит из двух стальных пластин, двух фторопластовых пластин и трех камер из стали.

$$\rho_{\text{сталь}} = 7820 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{фторопласт}}=400 \text{ кг/м}^3;$$

Для начала, рассчитаем объемы корпуса диализатора, катода, анода, и электролита.

$$V_{\text{раб.зоны камер}} = a \cdot b \cdot h = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,0016 \text{ м}^3; \quad (3.36)$$

$$V_{\text{корпуса}} = V_{\text{к}} - V_{\text{раб.зоны}} = (680 \cdot 480 \cdot 15) \cdot 10^{-9} - 0,036 = 0,0012 \text{ м}^3. \quad (3.37)$$

Так как таких камер три принимаем:

$$V_{\text{корпуса}} = 0,0012 \cdot 3 = 0,0036 \text{ м}^3, \quad (3.38)$$

Объем прижимных стальных пластин:

$$V_{\text{пласт}} = a \cdot b \cdot h = 660 \cdot 10^{-3} \cdot 350 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0061 \text{ м}^3, \quad (3.39)$$

Так как таких пластин две принимаем:

$$V_{\text{пласт}} = 0,0061 \cdot 2 = 0,0122 \text{ м}^3, \quad (3.40)$$

Объем пластин из фторопласта:

$$V_{\text{фт}} = a \cdot b \cdot h = 680 \cdot 10^{-3} \cdot 480 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,00489 \text{ м}^3, \quad (3.41)$$

Так как таких пластин две принимаем:

$$V_{\text{фт}} = 0,00489 \cdot 2 = 0,0098 \text{ м}^3, \quad (3.42)$$

Перейдем к расчету масс:

$$m_{\text{кам}} = V_{\text{ст.корп}} \cdot \rho_{\text{корп}} = 0,0036 \cdot 7820 = 28,152 \text{ кг}; \quad (3.43)$$

$$m_{\text{пласт}} = V_{\text{пласт}} \cdot \rho_{\text{пласт}} = 0,0122 \cdot 7820 = 95,40 \text{ кг}; \quad (3.44)$$

$$m_{\text{фт}} = V_{\text{фт}} \cdot \rho_{\text{фт}} = 0,0098 \cdot 400 = 3,92 \text{ кг}; \quad (3.45)$$

$$m_{\text{корп}} = m_{\text{кам}} + m_{\text{пласт}} + m_{\text{фт}} = 28,152 + 95,40 + 3,92 = 127,47 \text{ кг}, \quad (3.46)$$

Рассчитаем массу анода:

$$m_{ан} = V_{ан} \cdot \rho_{ан} = (660 \cdot 10^{-3} \cdot 350 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}) \cdot 7820 = 47,7 \text{ кг}, \quad (3.47)$$

Рассчитаем массу катода:

$$m_k = V_k \cdot \rho_k = (660 \cdot 10^{-3} \cdot 350 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}) \cdot 4500 = 27,45 \text{ кг}, \quad (3.48)$$

Тогда нагрузка, действующая на опору, рассчитывается по формуле:

$$P = (127,47 + 0,55 + 47,7 + 27,45) \cdot 9,8 = 2,41 \text{ кН}$$

3.6 Механический расчет

Целью механического расчета является определение прочности корпуса электролизера на давление растяжение. Давление создается рабочим раствором, которые давит на стенки и дно диализатора. Определим с каким давлением воздействует электролит.

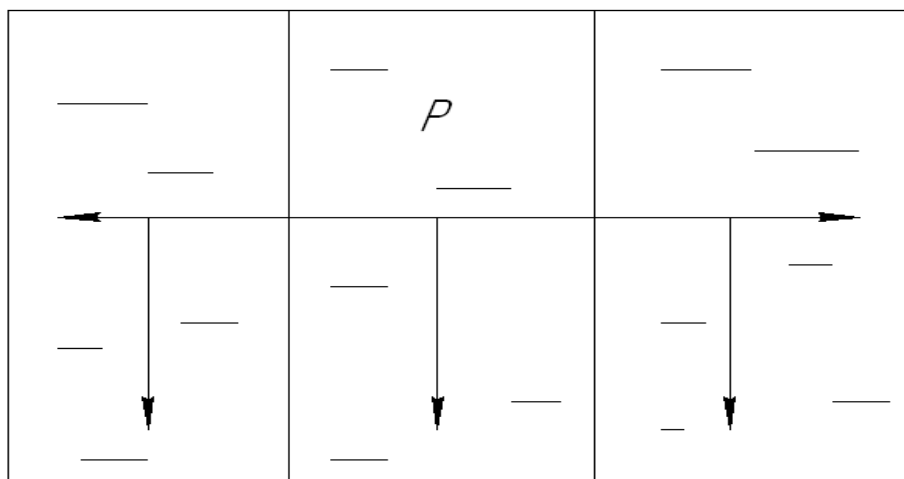


Рисунок 8 – Изображение давления на дно и стенки электролизера.

Рассчитаем давление, создаваемое раствором на дно диализатора. Так как в диализаторе 3 камеры, расчет проводится для каждой камеры отдельно.

$$P = \rho \cdot g \cdot H, \quad (3.49)$$

где ρ – плотность раствора,

$$\rho(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 2220 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1840 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho(\text{LiOH}) = 1460 \text{ кг/м}^3,$$

H – высота слоя электролита, $H = 0.59\text{м}$.

Получим:

$$P_1 = 2220 \cdot 9,8 \cdot 0,59 = 0,01 \text{ МПа}, \quad (3.50)$$

$$P_2 = 1840 \cdot 9,8 \cdot 0,59 = 0,01 \text{ МПа}, \quad (3.51)$$

$$P_3 = 1460 \cdot 9,8 \cdot 0,59 = 0,01 \text{ МПа}, \quad (3.52)$$

Принимаем толщину стенки аппарата, равную 10мм

Определим максимальное значение напряжения (в середине более длинной стороны):

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot P \cdot a^2}{(1 + 0.632 \cdot K^6) \cdot \delta^2}, \quad (3.53)$$

где a – ширина диализатора

δ – толщина стенки, мм

k – коэффициент, равный отношению ширины ванны к ее длине,
 $a/b = 3,5$

Получим:

$$\sigma_{\max} = \frac{0,5 \cdot 0,01 \cdot 480^2}{(1 + 0.632 \cdot 3,5^6) \cdot 10^2} = 0.132 \text{ МПа} \quad (3.54)$$

Допускаемое напряжение для стали составляет 131МПа, значит, выбранная толщина стенки ванны удовлетворяет условиям прочности.

3.7 Гидравлический расчет

Принимаем диаметр штуцера для подачи сульфата лития, равным 6 мм.
Расход сульфата лития 0,2 м³/час.

Рассчитаем скорость движения азота в штуцере, воспользовавшись формулой:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_V}{\pi \cdot d^2}$$

где, $G_V = 0,2 \text{ м}^3/\text{час} = 0,00033 \text{ м}^3/\text{с}$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,00033}{\pi \cdot (0,01)^2} = 2,2 \text{ м/с}$$

Критическая скорость движения газа в трубопроводе составляет 25 м/с [26].

$4,2 < 25$, т.о. патрубков диаметром 6 мм удовлетворяет требованиям.

Принимаем диаметр штуцера для подачи охлаждающей воды, равным 6 мм. Расход воды 1,16 м³/час.

Рассчитаем скорость движения сульфата лития в штуцере, воспользовавшись формулой:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_V}{\pi \cdot d^2}$$

где, $G_V = 1,82 \text{ м}^3/\text{час} = 0,00032 \text{ м}^3/\text{с}$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,00032}{\pi \cdot (0,006)^2} = 11,3 \text{ м/с}$$

Рассчитаем число Рейнольда:

$$Re = \omega \cdot d / \nu$$

где ν — кинематическая вязкость, $\nu = \mu / \rho$. Для воды $\nu = 1,16 \cdot 10^{-6}$.

μ - динамическая вязкость.

ρ - Плотность.

$$Re = 11,3 \cdot 0,006 / 1,16 \cdot 10^{-6} = 58448$$

$Re = 58448 > 4000$, соответственно, режим турбулентный.

Для расчета коэффициента гидравлического трения применим формулу Блазиуса:

$$\lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = 0,02$$

Находим потерю напора по формуле:

$$h = \lambda \frac{L}{D} \frac{\omega^2}{2g}$$

где L — длинна трубопровода, в нашем случае L = 1м.

$$h = 0,02 \cdot \frac{1}{0,006} \cdot \frac{11,3^2}{2 \cdot 9,81} = 21,7 \text{ м.}$$

Потеря напора составляет 21,7 м. Следовательно, необходимо подавать воду на охлаждение реторты под давлением не меньше 22 м. (2,5 атм)

3.8 Строительная часть

В основу архитектурно-строительных решений положены принципы рационального размещения технологического оборудования с соблюдением поточности технологического процесса, удобства при эксплуатации, унификации конструктивных строительных элементов и их сборность [26].

Габаритные схемы и геометрические параметры зданий и сооружений приняты в соответствии с ГОСТ 23838 – 89.

Конфигурации здания – прямоугольная, без внутренних замкнутых дворов.

Производственное здание спроектировано в соответствии СНиП 2.09.02–85 «Производственные здания».

Исходя из числа и размеров аппаратов, можно рассчитать площадь, занимаемую под строительство участка.

Длина цеха: $L_{\text{ц}} = 14$ м; ширина $B_{\text{ц}} = 6$ м; площадь $S_{\text{ц}} = 84$ м².

На рисунке 3.12 представлен план размещения оборудования на отметке 7.00.

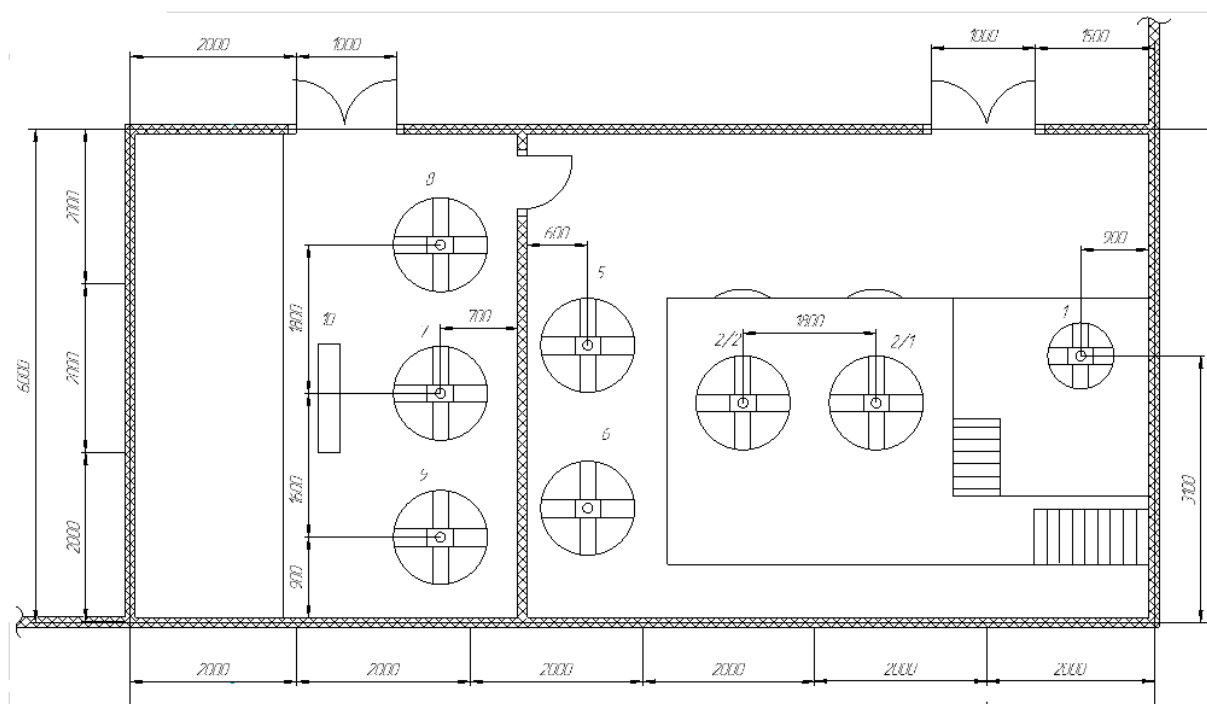


Рисунок представлен план размещения оборудования
на отметке 7.00.

3.9.1 Основные конструктивные элементы здания

Основание

Глубина заложения фундаментов внутренних стен и колонн отапливаемых зданий принимается независимо от глубины промерзания, поскольку грунт промерзает лишь по периметру.

Фундамент и колонны

Фундаменты под несущие стены располагаются по всему их периметру и называются ленточными. Глубина закладки фундамента под несущие стены - 1,5 м. На такую же глубину заложен фундамент стаканного типа под железобетонные балки и колонны [14].

Предусмотрено строительство здания каркасного типа из сборного железобетона. Фундамент сборных железобетонных колонн делают в виде ступенчатого массива, армированного по низу. Под колодкой находится стакан. После установки колонны, оставшийся объем заливают бетоном.

Колонны изготавливают из бетона марок 300, 400 без предварительного напряжения, поскольку колонны работают в основном на сжатие. Перед бетонированием колонн в них закладывают стальные детали в виде пластин. Они служат для крепления к колоннам других элементов каркаса и стен.

Нижний конец сборной железобетонной колонны имеет прямоугольное сечение и прямой торец без специальных деталей для ее крепления (к колоннам других элементов каркасов и стен) к фундаменту.

Покрытия

Внутренняя отделка в зданиях предусматривается в зависимости от назначения и агрессивности среды в помещениях. Для всех помещений с вредными выделениями, где есть кирпичные стены, предусматривается мокрая штукатурка с последующим покрытием слабосорбирующими материалами (окраска химически стойкими эмалями, масляными красками, глазурованная плитка). Стены зданий, колонны, перекрытия, металлические

конструкции, подвергающиеся агрессивным воздействиям паров кислот, щелочей, имеют надежную химическую защиту. При выборе средств химической защиты учитывалась агрессивность среды и влажность воздуха в помещениях. Отделка интерьеров производственных зданий назначена с учетом требований эффективной дезактивации в случае производственных аварийных ситуаций. Полы проектируются в зависимости от условий эксплуатации в соответствии СНиП РК 3.02-03 – 2003 [14].

Окна, двери, ворота

В крупнопанельных стенах во избежание дробления панелей оконные проемы делают или с шириной, равной шагу колонн, или, чаще всего, в виде ленточного остекления. Заполнение оконных проемов промышленных зданий делают из дерева и стали.

Расположение дверей и ворот должно отвечать производственным потребностям и противопожарным требованиям (эвакуационные выходы) [14].

Дверная коробка укрепляется в проеме стены, а дверь навешивается на коробку.

4. Результаты проведенного исследования (разработки).

В ходе проектирования была создана принципиальная технологическая схема отображающая суть разработанной на цехе технологии. К принципиальной технологической схеме было предложено аппаратное оформление (представлено с описанием в гл. 3.1) и произведен материальный расчет переработки литийсодержащих осадков данной технологии (представлен в гл. 3.2). Принципиальная схема с материальными потоками изображена ниже на рисунке 4.1. Было детально рассмотрено аппаратное оформление участка и разработана функциональная схема автоматизации процесса. Также был рассчитан и сконструирован основной аппарат участка – диализатор. В проекте произведены механический и гидравлический расчеты для выбранного аппарата и выполнен сборочный чертеж с приложенной к нему спецификацией. В таблице 11 представлены параметры спроектированного аппарата.

Таблица 11 – Параметры диализатора.

Параметр	Значение
Токовая нагрузка	До 250 А
Напряжение на шинах аппарата	До 12 В
Плотность тока	До 1250 А/м ²
Эффективная площадь электродов	0,2м ²
Размеры: ВхДхШ	0,67х0,48х0,135 м
Масса единицы оборудования	120 кг

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью экономического расчета является определение себестоимости технологического процесса, расходов на монтаж, обслуживание и эксплуатацию оборудования.

Во всех расчётах данного раздела производительность аппарата в 200 кг/год принимается за годовой объём выпуска продукции. Работа будет вестись по пятисменному графику при шестичасовом рабочем дне, при эффективном фонде рабочего времени 300 дней.

5.1 ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

5.1.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛАНСА ВРЕМЕНИ ОДНОГО РАБОЧЕГО

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней, подлежащих отработки одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. участок будет работать в 4 смены продолжительностью по 6 часов. Работа будет производиться одним аппаратчиком, который будет отвечать за запуск процесса. Остальное время за процессом будут следить аппаратчики с других производственных участков.

Таблица 12 – График сменности бригад.

Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Д	–	У	У	Н	Н	–	В	В	Д

где У – утренняя смена с 07.00 до 13.00

Д – дневная смена с 13.00 до 19.00

В – вечерняя смена с 19.00 до 01.00

Н – ночная смена с 01.00 до 07.00

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 66 день. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 66 выходной день. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени. Баланс представлен в таблице 13.

Таблица 13 - Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Непрерывное производство, 8-часовой рабочий день, 4 бригады	
	дней	часов
Календарное число дней	366	8784
Выходные дни	66	1584
Номинальный фонд рабочего времени	300	7200
Планируемые невыходы:		
очередные и дополнительные отпуска	56	1344
невыходы по болезни	12	288
выполнение государственных и общественных обязанностей	0	0
отпуск, в связи с учёбой без отрыва от производства	14	336
Итого (планируемые невыходы):	82	1968
Эффективный фонд рабочего времени	218	5232

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 218 \cdot 6 = 1308 \text{ часа.}$$

5.1.2 Расчет численности рабочих, служащих, руководителей и специалистов

5.1.2.1 Расчет численности основных рабочих

Численность производственных рабочих определяется, исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется, исходя из необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объема работы на управление каждым участком. Обслуживанием процесса будут заниматься рабочие с других участков.

5.2.2 Расчет численности вспомогательного персонала

С учетом специфики данного участка и приборного оформления комплектация участка дежурным обслуживающим персоналом производиться не будет.

5.2.3 Расчет численности специалистов, руководителей и служащих

Расчет численности специалистов, руководителей и служащих производиться не будет, по причине того, что эти функции будут выполняться рабочими с других производственных участков.

5.3.1 Расчет фонда заработной платы основных рабочих

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Основной фонд (ЗП)

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар}} + Д_{\text{пр}} + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{праз.}} + Д_{\text{вред.}}; \quad (5.1)$$

где $З_{\text{тар}}$ - тарифный фонд;

$Д_{\text{пр}}$ - доплата премий;

$Д_{\text{н.вр.}}$ - доплаты за ночные смены;

$D_{\text{праз.}}$ - доплата за работу в праздничные дни;

$D_{\text{вред}}$ - доплата за вредность.

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{сп}}^i; \quad (5.2)$$

где $R_{\text{сп}}$ - списочное число рабочих;

$T_{\text{эф}}$ - эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$T_{\text{сп}}$ - тарифная часовая ставка.

Часовая тарифная ставка составляет для аппаратчика:

7^{го} разряда – 98,61 руб/час;

$$Z_{\text{тар}} = 1 \cdot 1308 \cdot 98,61 = 128981,3 \text{ руб};$$

б) Доплата за работу в ночное время осуществляется отчислением 40% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{н.вр}} = R_{\text{сп}}^i \cdot n_{\text{н.вр}} \cdot T_{\text{ст}}^i \cdot t_{\text{см}} \cdot П; \quad (5.3)$$

где $n_{\text{н.вр}}$ - количество ночных смен в году;

$t_{\text{см}}$ - продолжительность смены, час;

П - процент отчисления (40%);

$$D_{\text{н.вр}} = 1 \cdot 72 \cdot 98,61 \cdot 0,4 \cdot 6 = 17039,5 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий - 30% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр}} = Z_{\text{тар}} \cdot \frac{П}{100} = 128981 \cdot \frac{30}{100} = 38694,4 \text{ руб.} \quad (5.4)$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 12 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = R_{\text{яв}} \cdot N \cdot T_{\text{ст}} \cdot t_{\text{см}}, \quad (5.5)$$

где N - число праздничных дней в году;

$$D_{\text{пр}} = 1 \cdot 197,2 \cdot 12 \cdot 6 = 14184 \text{ руб};$$

д) Доплата за вредность - 36% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{вред}} = Z_{\text{тар}} \cdot \frac{П}{100} = 128981 \cdot \frac{36}{100} = 46433,2 \text{ руб.} \quad (5.6)$$

$$Z_{\text{осн}} = 128981,3 + 17039,5 + 38694,4 + 14184 + 46433,2 = 245332,4 \text{ руб.}$$

Расчет фонда дополнительной заработной платы

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \frac{П_{\text{д.з.}}}{100} = 245332,4 \cdot \frac{21}{100} = 51519,7 \text{ руб}, \quad (5.7)$$

где $П_{\text{д.зп}}$ - процент доплаты (21%);

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot 1,3 = (245332,4 + 51519,7) \cdot 1,3 = 370451 \text{ руб}. \quad (5.8)$$

Таблица 24 - Расчет годового фонда заработной платы основных рабочих

Категория рабочих	основные
Система оплаты труда	Повременно - премиальная
Разряд	7
Тарифная ставка, руб/час	98,61
Численность списочных рабочих,	1
Фонд рабочего времени, час	1308
Тарифный фонд, руб/год	128981,3
Доплата за ночное время, руб/год	17039,5
Доплата за праздничные дни, руб/год	38694,4
Доплата за вредность, руб/год	14184
Доплата премий, руб/год	46433,2
Основной фонд ЗП, руб/год	245332,4
Дополнительный фонд заработной	51519,7
Годовой фонд заработной платы,	370451

5.4 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования представлен в таблице 15.

Таблица 15 - Расчет стоимости оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед, тыс.руб.	Цена, тыс.руб.
Реактор РК-1,5 ПП	1	767	767
Реактор РК-1,5 ПП с нагревом	1	767	767
Нутч-фильтр	2	221,84	443,68
Ловушка вакуумная	2	82,6	165,2
Емкость полиэтиленовая 1000ВФК2 «Анион»	6	63,72	382,32
Диализатор мембранный	1	1000	1000
Насос химический Wilo PM-051NE	7	91,1	637,7
Выпрямитель модульный Flex Kraft	1	173	173
КИП	1	300	300
ИТОГО:			4635,9

Таблица 16 - Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Сумма, тыс. руб.
Устройство фундаментов	10	463
Технологические трубопроводы	20	926
Антикоррозионные работы	5	231
Кабельные разводки	5	231
КИПиА	10	463
Монтаж оборудования	22	1018
Вспомогательное оборудование	5	231
Итого:		3536

$$C_{\text{кап.затр}} = C_{\text{обор}} + \sum C_{\text{затр}} \quad (5.9)$$

$$C_{\text{кап.затр}} = 4635 + 3536 = 8171 \text{ тыс.руб.}$$

Таблица 17 - Полные капитальные затраты

Наименование сметы	глав	Капитальные затраты	
		тыс.руб.	%
Оборудование		8171	100
Итого:		8171	100

5.5 Общепроизводственные расходы

5.5.1 Содержание и эксплуатация оборудования

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р}} = 8171 \cdot 0,15 = 1225 \text{ тыс.руб./год.}$$

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{сод}} = 8171 \cdot 0,05 = 408 \text{ тыс.руб./год.}$$

5.5.2 Отчисления на амортизацию оборудования

Амортизация оборудования - 10 % от стоимости оборудования:

$$A_{\text{об}} = C_{\text{затр}} \cdot \alpha = 8171 \cdot 0,1 = 817 \text{ тыс.руб./год.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\sum Z_2 = A_{об} + Z_{сод} + \Phi_{т.р} = 1225 + 408 + 817 = 2450 \text{ тыс.руб./год.}$$

Общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{общ} = \sum Z_1 + \sum Z_2 = 13937,4 + 2450 = 16387,4 \text{ тыс.руб./год.}$$

5.6 Расчет технологических затрат

5.6.1 Затраты на электроэнергию

$$Z_{эл} = C_{эл} \cdot W \cdot T_{р.обор.}$$

Где $C_{эл}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (3,56 руб.);

W - потребляемая мощность, кВт;

$T_{р.обор}$ - время работы оборудования в год ($218 \cdot 24 = 5232$ ч.).

Расходы на электроэнергию складываются из стоимости полезной работы электродвигателей мешалок, насосов. На участке установлено семь электроприводов мешалок, с мощностью 0,5 кВт. Также в цехе установлены 8 центробежных насосов с электродвигателями 1,1 кВт.

$$Z_{эл} = 3,56 \cdot 5232 \cdot (8 \cdot 1,1 + 7 \cdot 0,5) = 229099 \text{ руб/год.} \quad (5.10)$$

5.6.2 Затраты на ОТ и ТБ

Затраты, связанные с организацией труда и техникой безопасности, принимаются равными 15 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{ОТ\text{и}ТБ} = 370451 \cdot 0,15 = 55567,1 \text{ руб./год.} \quad (5.11)$$

5.6.6 Отчисления на социальные нужды

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы:

$$Z_{соц} = 370451 \cdot 0,3 = 111135 \text{ руб./год.}$$

5.7 КАЛЬКУЛЯЦИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПЕРЕДЕЛА

Определим стоимость получения на определенный объем производства

$Q_{\text{год}} = 200 \text{ кг в год.}$

5.7.1 Расчет затрат на реагенты

Затраты на реагенты приведены в виде таблицы (таблица 17).

Таблица 17 – Затраты на сырьё

Наименование	Цена за единицу, руб./ед.	Количество на весь годовой выпуск, ед.	Итоговые затраты, руб.
H ₂ SO ₄	113	1568	177188
Итого:			177188

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Ед. измер.	Цена прод., руб.	Норма в год	Сумма руб./год
H ₂ SO ₄	кг	113	423	177188
Электроэнергия на тех. нужды	кВт	3,56	64354	229099
Итого условно-переменные затраты				276888
Фонд ЗП: основных рабочих руководителей,	руб.			370451
Отчисления на соц. нужды	руб.			111135
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: амортизация оборудования	руб.			16387400

тек.и кап. ремонты	руб.			1225000
содержание оборудования	руб.			409000
Цеховые расходы:				
расходы на ОТ и ТБ	руб.			55567,1
Итого условно-постоянные затраты				18558553
Себестоимость передела				18835441

Таким образом, себестоимость передела составляет 18835441 рублей в год. При этом, затраты, которые приходится на реагенты, равны – 5 %. На содержание и эксплуатацию оборудования направляется – 87 %, на долю оплаты труда и социальные нужды –1 %, на отчисления – 1 %, прочие расходы – 3% от себестоимости передела. Диаграмма себестоимости приведена на рисунке 14.

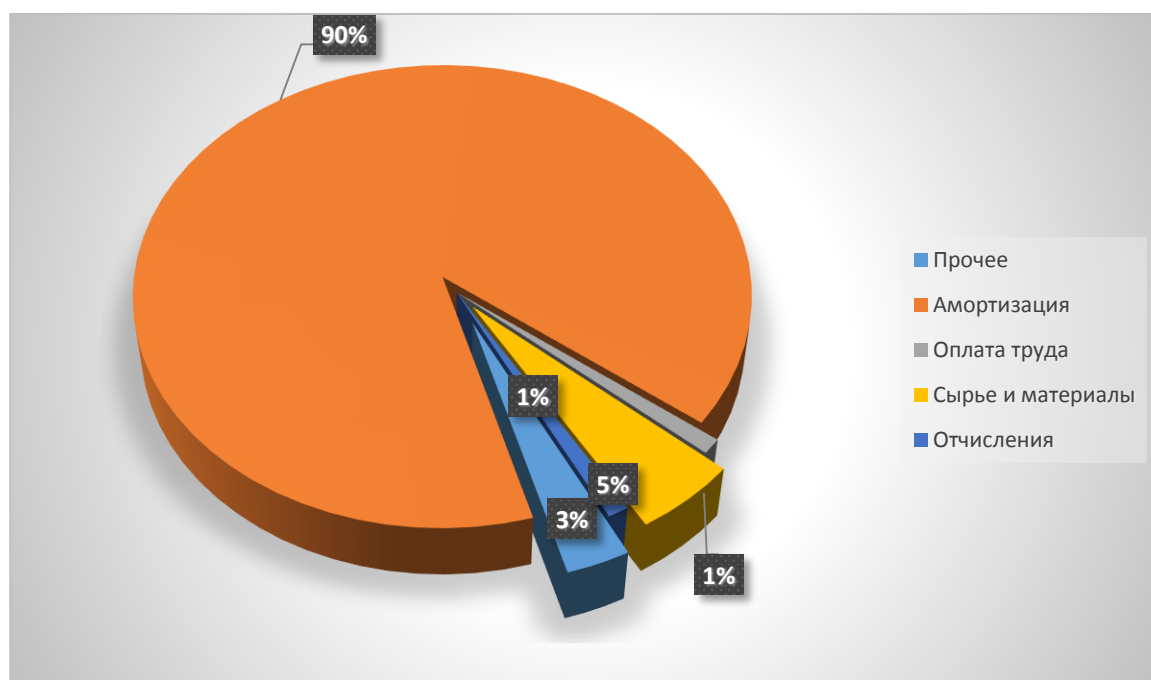


Рисунок 14 – диаграмма основных затрат

Построение графика безубыточности невозможно, так как ведется экономический расчет отдельной части замкнутого топливного цикла и нет реальной цены продукта.

6. Автоматизация процесса получения безводного тетрафторида урана

6.1 Описание функциональной схемы автоматизации

Раствор карбонатных отходов поступает в реактор (позиция 2.1). В реакторе установлен уровнемер с сигнализатором уровня (позиция 1-1). Расход регулируется с помощью вентиля (позиция 1-7). В реактор (позиция 2.1) поступает конденсат из существующей конденсатной линии. Расход регулируется с помощью вентиля (позиция 2-6). После завершения процесса водного выщелачивания осветленная часть раствора через боковой патрубок сливается на нутч-фильтр (позиция 4.1) и через вакуумную ловушку (позиция 3.1), с помощью насоса (позиция 8.1), подается в накопительную емкость (позиция 5). Расход регулируется с помощью вентиля (позиция 10-6). В накопительной емкости (позиция 5) установлен уровнемер с сигнализатором уровня (позиция 19-1). К оставшемуся осадку в реакторе (позиция 2.1) добавляют небольшое количество воды для соотношения $T : Ж = 1 : 1$, при включенной мешалке и порционной подаче кислоты из питающей емкости (позиция 1) проводят реакцию нейтрализации карбоната лития серной кислотой. Процесс контролируют по величине pH среды, которая по окончании нейтрализации должна составлять 1-3 ед. Для этого устанавливается pH метры (позиция 5-1, 12-1)

По окончании нейтрализации раствор перемешивают, и если значение pH сохраняется в требуемом диапазоне, то раствор сливают на нутч-фильтр (позиция 4.1). Отфильтрованный раствор через вакуумную ловушку (позиция 3.1) передают в реактор (позиция 2.2), в котором проводят химическое осаждение примесей. В реакторе установлен уровнемер с сигнализатором уровня (позиция 11-1). Раствор нагревают до 90-95 °С. Температура раствора регулируется датчиком (позиция 13-1) Проводят корректировку pH среды в реакторе. Для этого из накопительной емкости (позиция 5) с помощью насоса (позиция 11.3) подается раствор гидроксида лития. Расход регулируется с помощью вентиля (позиция 20-6). Значение pH должно составлять 8-10 ед.

При достижении заданного значения pH раствор перемешивают в течение одного часа, мешалку и нагрев отключают и после снижения температуры до 50-70 °С осветленную часть раствора сливают на нутч-фильтр (позиция 4.2). Далее раствор сульфата лития через вакуумную ловушку (позиция 3.2) с помощью насоса (позиция 11.2) передают в накопительную емкость (позиция 6). Расход сульфата лития регулируется с помощью вентиля (позиция 18-6). В накопительной емкости установлен уровнемер с сигнализатором уровня (позиция 21-1).

Из накопительной емкости (позиция 5) раствор сульфата лития подают в питающую емкость (позиция 8). В питающей емкости установлен уровнемер с сигнализатором уровня (позиция 23-1), уровень не должен превышать 0,7 метров. Расход сульфата лития регулируется с помощью вентиля (позиция 22-5). Раствор циркулирует через среднюю камеру электродиализатора (позиция 10). Через накопительную емкость (позиция 7) и анодную камеру циркулирует раствор серной кислоты, через накопительную емкость (позиция 9) и катодную камеру циркулирует раствор гидроксида лития.

На диализаторе задают плотность тока 10 А/дм², при этом напряжение не должно превышать 10 В. В процессе электродиализа контролируют концентрацию рабочих растворов. Для этого в питающих емкостях (позиции 7,9) установлены концентратомеры КС-1М-2К (позиции 24-1, 25-1, 26-1). При достижении концентрации анолита 3 г-экв/л раствор серной кислоты в количестве 3/4 от общего объема передают в питающую емкость (позиция 1). Аналогично поступают при достижении концентрации католита 2-3 г-экв/л, полученный раствор из (позиции 9) сливают в транспортную емкость и передают на кристаллизацию.

5.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации

В схеме контролю подлежат следующие технологические параметры:

- уровни в реакторах и накопительных емкостях;
- расход кислоты поступающей на выщелачивание (для кислотного выщелачивания 120 см³/час)
- концентрация урана в пульпе после выщелачивания;
- температура ТЭНов при химическом осаждении;
- pH раствора (pH = 1÷3 - для кислотного выщелачивания), (pH = 8÷10 - для химического осаждения).
- сила тока в диализаторе 10В

Контролю подлежат, прежде всего, те параметры, знание которых облегчает пуск, наладку и нормальное ведение технологического процесса. К таким параметрам относятся все регулируемые величины, нерегулируемые внутренние параметры, входные и выходные параметры, при изменении которых в объект могут поступать возмущающие воздействия.

Регулированию подлежат следующие технологические параметры:

- расход кислоты
- расход воды;
- расход перерабатываемых отходов
- температура раствора при химическом осаждении

Сигнализации подлежат все параметры, изменения которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьёзному нарушению технологического режима. Основным назначением устройств сигнализации является оповещение обслуживающего персонала о нарушениях технологического процесса.

Сигнализации подлежат следующие параметры:

- уровень в реакторах (позиции 1-1, 11-1);
- уровень в накопительных емкостях (позиции 19-1, 21-2, 23-1);
- температура в реакторе (позиции 13-1)

- рН раствора (позиции 5-1)

5.4 ВЫБОР ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В данной функциональной схеме используются следующие контрольно-измерительные приборы:

- Измерение уровня.

Сигнализатор уровня ультразвуковой Siemens Pointek ULS 200. Принцип работы основан на том, что звуковые волны отражаются от препятствия, которыми являются объекты измерения. В датчике принятый отраженный сигнал преобразуется встроенной электроникой в напряжение. Таким образом, интегрированный контроллер измеряет время, за которое сигнал проходит путь от излучателя, отражается от объекта и возвращается в приемник. Преимущества ультразвуковых датчиков уровня, отсутствие контакт с продуктом, поэтому на уровнемере не образуются отложения.

Технические характеристики сигнализатора уровня ультразвукового Siemens Pointek ULS 200 приведены в таблице 7.1.

Таблица 20 – Технические характеристики сигнализатора уровня ультразвукового Siemens Pointek ULS 200:

Параметры	Характеристики
Тип	сигнализатор уровня, контроль 2х точек
Принцип действия	ультразвуковой
Измеряемая среда	жидкость, сыпучие вещества
Диапазон измерений	0.25.. 5 м (для жидкостей), 0.25.. 3 м (для сыпучих веществ)
Температура эксплуатации	-40.. 120 °С
Давление в системе	0.5 бар

Материал	пластик, алюминий
Настройка диапазона измерения	программирующие кнопки, дисплей
Питание	AC/DC

- Измерение расхода жидкости.

Выбираем расходомер MSW самый компактный магнитно – индуктивный. Самый компактный магнитно-индуктивный расходомер, предназначенный для измерения токопроводящих жидкостей (воды, водных растворов, кислот, щелочей и т.д.). используется для измерения чистых и загрязненных жидкостей, где применение других расходомеров, например, турбинных или шестеренчатых невозможно. С учетом небольших размеров, широко применяется в машиностроении, приборостроении и научных исследованиях.

Технические характеристики MSW электромагнитный микропроцессорный расходомер представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Технические характеристики MSW

Параметры	Характеристики
Назначение, область применения:	измерение объемного расхода
Форма представления информации:	выходной сигнал: частотный 0...1000Гц
Пределы измерения, м ³ /ч:	0...10
Условный проход (Ду), мм:	7...20

Продолжение таблицы 22

Параметры	Характеристики
Погрешность измерения, %:	±1,5...±3
Срок службы, лет	12
Срок поверки	1 раз в 3 года

- Измерение pH среды.

Выберем в качестве измерителя pH-метр «ПМП–212». Принцип работы основан на функциональной зависимости между ЭДС электродной системы первичного преобразователя и величиной pH контролируемой среды, в которой она находится.

Технические характеристики измерителя pH-метр «ПМП–212» представлены в таблице 23.

Таблица 24 – Технические характеристики измерителя pH-метр «ПМП–212»

Параметры	Характеристики
Диапазон измерений, ед. pH	1-14
Температура эксплуатации, °C	0...+100
Приведенная погрешность, ед. pH	±0,2
Длина погружной части, мм	600...2000
Выходной сигнал, мА	4...20

- Измерение влажности.

Выбираем промышленный измеритель влажности Н4111

Преобразователь влажности Н4111 состоит из сдвоенного датчика, - тонкопленочного емкостного датчика влажности Ultra-НП с диапазоном измерений 0-100% и тонкопленочного платинового резистивного датчика температуры, Ultra 7, - и линейного преобразователя 4-20 мА с двухпроводным интерфейсом. Платиновый терморезистор обеспечивает температурную компенсацию в полном диапазоне измерений, в то время как тонкопленочный емкостной датчик влажности гарантирует высокоточные измерения.

Датчики Ultra-НП и Ultra 7 имеют механизм plug-in, что позволяет легко их заменять при производственной необходимости. Дополнительно можно использовать губчатый фильтр из нержавеющей стали для защиты устройства в тяжелых условиях эксплуатации в пыльных и загрязненных

средах. Чистка экрана и фильтра не требует особых эксплуатационных затрат и осуществляется посредством удаления нескольких крепежных винтов.

Таблица 25 – Технические характеристики концентратора радиоизотопного проточного "Карат-2"

Параметры	Характеристики
Диапазон измерения	0-100 %
Тип выходного сигнала	4-20 мА
Пределы основной погрешности	не более $\pm 2,5$ %;
Температура измеряемой среды	от -40 до 80 °С.

- Измерение температуры.

Выберем в качестве преобразователя температуры измерительный ЦИТРОН-100МП.

Преобразователи температуры измерительные предназначены для непрерывного преобразования значения температуры измеряемого с помощью стандартных термопреобразователей сопротивления и преобразователей термоэлектрических (типы ТС и ТП) в унифицированный токовый сигнал, а также индикации текущего значения температуры и параметров настройки преобразователей в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Технические характеристики преобразователя температуры измерительного ЦИТРОН-100МП представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики преобразователя температуры ЦИТРОН-100МП

Параметры	Характеристики
Диапазон измерений, °C	-50...+150
Относительная погрешность, %	±0,25
Класс точности	0,25
Степень защиты	IP30
Выходной сигнал, мА	4...20
Длина погружения, мм	80...3150

5.5 Автоматизация процесса с использованием средств ЭВМ

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) – это человеко-машинная система, обеспечивающая сбор, обработку и отображение информации, а также выработку и передачу на регулирующие органы управляющих воздействий, обеспечивающих заданный режим функционирования объекта управления. При этом возможно ведение технологического процесса в режиме, оптимальном с точки зрения какого-либо технико-экономического показателя, характеризующего качество управления.

Целями создания АСУ ТП являются:

- экономия топлива, сырья, материалов и других ресурсов;
- обеспечение безопасности функционирования технологических аппаратов;
- повышение качества выходного продукта;
- снижение затрат живого труда;
- достижение оптимальной загрузки оборудования;
- оптимизация режимов работы аппаратов.

Совокупность действий системы управления, направленной на достижение поставленной цели управления, реализуются информационной и управляющей функциями АСУ ТП.

Информационные функции: централизованный контроль и измерение технологических переменных, косвенное измерение (вычисление) значений технологических переменных и технико-экономических показателей (ТЭП) производства, оценка и прогноз состояния оборудования.

Управляющие функции: стабилизация технологических переменных, оптимальное управление технологическими режимами, адаптивное управление объектом, логическое управление аппаратами, оборудованием. Информационные, вычислительные, а частично и управляющие функции реализуются средствами вычислительной техники в рамках информационной и управляющей подсистем. В зависимости от степени участия человека в реализации функций АСУ ТП различают автоматизированный и автоматический режимы работы. В первом случае оперативный персонал принимает активное участие в управлении. Здесь реализуются: ручное дистанционное управление в период пуска, возникновения аварийных ситуаций или изменения режима работ технологического процесса.

В автоматическом режиме АСУ ТП вырабатывает и реализует управляющее воздействия без участия оператора. При этом реализуется централизованная или распределенная структура управляющей системы. В системах с централизованной структурой, реализация всех процессов управления объектами, осуществляется в едином органе управления (ЭВМ), который реализует сбор и обработку информации об управляемых объектах и на основе их анализа, в соответствии с критериями системы, вырабатывает управляющие сигналы. ЭВМ выполняет функцию центрального управляющего устройства в супервизорном режиме управления, изменяя уставки локальных САР, а также в режиме прямого цифрового управления (ПЦУ), когда ЭВМ непосредственно передает управляющие сигналы на исполнительные устройства.

АСУ, функционирующая в режиме супервизорного управления (супервизор — управляющая программа или комплекс программ), предназначена для организации многопрограммного режима работы ЭВМ и представляет собой двухуровневую иерархическую систему, обладающую широкими возможностями и повышенной надежностью. Нижний уровень, непосредственно связанный с процессом, образуют локальные регуляторы отдельных технологических параметров. На верхнем уровне управления установлена ЭВМ, основной функцией которой является определение оптимального технологического режима и вычисление на его основе значений уставок локальных регуляторов.

Супервизорный режим позволяет не только автоматически контролировать процесс, но и автоматически управлять им вблизи оптимальной рабочей точки. Функции оператора сводятся к наблюдению за технологическим процессом и в случае необходимости к корректировке цели управления и ограничений на переменные.

Режим ПЦУ резко повышает эффективность АСУ ТП, исключает из комплекса технических средств регистрирующие, показывающие приборы и локальные автоматические регуляторы (следовательно, громоздкие щиты технологического контроля (ЩТК)), позволяет реализовать оптимизационные алгоритмы и создавать адаптивные системы управления. Но его реализация требует высокой надежности вычислительной системы, наличия математических моделей для различных режимов работы технологического оборудования. В данном режиме происходит управление двигателями, ТЭНами.

При реализации режима ПЦУ на ЭВМ обычно организуют автоматизированные рабочие места операторов, обеспечивающие отображение и регистрацию технологической информации, и прием команд оператора (т.е. человеко-машинный интерфейс). Функции программно-логического управления, технологических и противоаварийных блокировок, а

также аналогового локального регулирования выполняют микропроцессорные контроллеры.

5.6 Действия оператора-технолога при различном ведении процесса

При пуске технологической установки, в первую очередь, загружаются исходный раствор в реактор смешения. Следующим шагом проводят водное выщелачивание. Для этого осадки распульповывают в конденсате. Аппаратчик контролирует подачу добавляемой воды, которая зависит от начальной влажности осадков.

После чего запускается перемешивающее устройство. Суспензию перемешивают в течении восьми часов. После чего осветленная часть раствора сливается на нутч-фильтр и через вакуумную ловушку подается в накопительную емкость для гидроксида лития. Далее при включенном перемешивающем устройстве порционно добавляют серную кислоту и проводят кислотное выщелачивание. Аппаратчик контролирует процесс по величине pH среды. Аппаратчик завершает процесс кислотного выщелачивания после того как перестает выделяться углекислый газ. Далее раствор сливают на нутч-фильтр и через вакуумную ловушку передают в реактор для проведения химической очистки. В реакторе включается нагрев и аппаратчик контролирует pH среды добавлением гидроксида лития. При достижении заданного значения pH раствор перемешивают в течении одного часа. После чего осветленную часть раствора сливают на нутч-фильтр и через вакуумную ловушку передают в накопительную емкость.

Из накопительной емкости раствор сульфата лития подается в питающую емкость. Для первого запуска аппаратчик готовит растворы серной кислоты и гидроксида лития заданной концентрации. Из питающей емкости раствор циркулирует через среднюю камеру электродиализатора. Через анодную камеру циркулирует раствор серной кислоты. Через катодную камеру циркулирует раствор гидроксида лития. В процессе электродиализа

аппаратчик контролирует концентрацию рабочих растворов. Замену рабочего раствора проводят при достижении заданной минимальной концентрации лития.

6. Охрана труда и техника безопасности.

6.1. Введение. законодательство рф по охране труда и окружающей среды.

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая правовые, социально - экономические, организационно - технические, лечебно - профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [36].

Основными законодательными документами, лежащими в основе трудового законодательства и охраны труда, являются [37]:

Конституция РФ (ст.7. п.2. «В РФ охраняется труд и здоровье людей...», п.3. «Каждый человек имеет право на безопасный труд...», ст.39, ст.41, ст.42, ст.52, ст.58.);

Основное законодательство РФ об охране труда (ст.3, ст.4, ст.5, ст. 9, ст.20);

ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30 марта 1999г. №52-ФЗ (ст.25, ст.26, ст.27, ст. 34, ст.55);

ФЗ РФ от 10.01.2002г №7 – ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст.11).
НРБ – 99/2009 и ОСП РБ – 2010.

6.2. Характеристика вредных и опасных факторов производства.

При идентификации опасностей и оценке рисков для работника цеха при работе с отходами производства выявлены:

6.2.1 Опасные производственные факторы:

6.2.1.1 Возможность отравления и химического ожога глаз и частей тел:

а) при работе с отходами без СИЗ;

б) при неправильном применении СИЗ (например – защитные очки неплотно прилегают к лицу и остается щель между обтюратором очков и лицом работника);

в) при нарушении требований безопасности и порядка обращения с отходами, изложенными в технологической инструкции (ТИ) и рабочей инструкции (РИ) по работе с отходами производства;

г) при выплеске влажных отходов из контейнера во время перетаривания отходов или перегрузки из контейнера в поддон;

д) при выплеске пульпы (отходов, разбавленных водой) из технологического оборудования установки по извлечению ртути.

4.1.2 Возможность отравления парами ртути при работе с ртутьсодержащими отходами без СИЗ органов дыхания – полумаски фильтрующей ФППУ.

4.1.3 Возможность отравления аэрозолями продуктов горения лития при возгорании литийсодержащих отходов.

4.1.4 Возможность получения термохимического ожога при попадании на тело работника горящих отходов электролиза. Причиной возгорания отходов электролиза может быть попадание влаги или каких-либо влажных материалов в контейнер с отходами.

4.1.5 Возможность получения травмы:

а) при работе с неисправным инструментом или оснасткой, или при использовании инструмента или оснастки не по назначению;

б) при использовании неправильных приёмов в работе;

в) при контакте с острыми краями металлических предметов;

г) при падении каких-либо предметов с высоты;

д) при недостаточной подготовке рабочего места (недостаточная освещённость, неустойчивое складирование инвентаря и оснастки, загромождённость рабочего места посторонними предметами);

е) при отсутствии защитного ограждения на вращающихся (движущихся) частях оборудования;

ж) грузом, перемещаемым грузоподъёмными механизмами при работе с ГПМ;

з) при несогласованных действиях с членами бригады;

- и) при передвижении по влажным, скользким полам;
- к) при передвижении через загромождённые посторонними предметами проходы;
- л) при неосторожном передвижении по площадкам обслуживания и лестницам;
- м) при неправильном использовании съёмных грузозахватных приспособлений (СГЗП) и тары.

4.1.6 Возможность получения электротравмы:

Причины, при которых возможно поражение электрическим током и получение электротравмы:

- а) при проведении ремонтных работ на оборудовании без снятия напряжения (на не отключённом электрооборудовании);
- б) при работе на оборудовании с разбитой пусковой электроаппаратурой (выключатели, пускатели, кнопочные пульта).
- в) при случайном прикосновении металлическими предметами к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- г) при одновременном прикосновении к оборудованию, находящемуся под напряжением и к контуру заземления;
- д) при работе на оборудовании с нарушенным заземлением;
- ж) при работе на оборудовании с нарушенной электроизоляцией на электрических проводах.

4.2 Вредные производственные факторы

4.2.1 Физические:

- а) Напряжённость электромагнитных полей от оборудования.
- б) Воздействие шума от работающего оборудования, что обуславливает плохую слышимость сигналов и является раздражающим фактором.

4.2.2 Химические:

- а) Контакт с веществами, вызывающими раздражение верхних дыхательных путей, кожи, глаз, а также вызывающими отравление организма при попадании внутрь.
- б) Химический ожог слизистых оболочек дыхательных путей и глаз и кожных покровов при попадании на них технологических оборотов и производственных отходов.

4.2.3 Психофизиологические:

- а) Боли в спине и другие мышечно-скелетные проблемы, вызванные перенапряжением, неудобными позами при обращении с тяжелыми грузами.
- б) Напряжение органов зрения при недостаточной освещённости в зоне работ.

6.3. Техника безопасности при работе с токсичными веществами.

Технологические обороты и отходы производства - это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производственной деятельности цеха 5 и относятся к веществам 1 и 2 класса опасности. К таким веществам относятся ртутьсодержащие обороты (далее по тексту – РСО), которые содержат в себе ртуть и литийсодержащие отходы (далее по тексту – ЛСО), которые содержат литий и его соединения.

- а) Ртуть (Hg) – в обычных условиях - жидкий металл серебристого цвета, при температуре ниже температуры плавления, $t_{\text{пл}}^0 = -38,86^{\circ}\text{C}$ твердеет.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ртути в воздухе рабочей зоны составляет 0,01 мг/м³. Ртуть относится к веществам 1 класса опасности.

Для ртути характерна высокая проникающая способность. Особенно опасны для работника пары ртути, не имеющие цвета, вкуса и запаха и которые благодаря своей высокой плотности могут распространяться против потоков воздуха.

Скорость движения воздуха, обеспечиваемая системами местной вытяжной вентиляции, у источников выделения ртути должна быть не менее 1,5 м/с.

Признаками отравления работника парами ртути являются – неустойчивость при ходьбе, дрожание верхних конечностей, понижение остроты слуха и зрения.

Острое отравление работника парами ртути характеризуется общей слабостью, головной болью, болью при глотании, повышенной температурой, воспалительными процессами дыхательных путей. Затем появляются воспаление десен, боли в животе, желудочные расстройства, признаки поражения почек.

Хроническое отравление парами ртути характеризуется повышенной утомляемостью, слабостью, сонливостью, апатией, эмоциональной неустойчивостью, головными болями, головокружением.

При остром отравлении работника парами ртути необходимо вывести пострадавшего в чистую зону и обратиться за медицинской помощью.

Для защиты от воздействия паров ртути на организм работника необходимо применять спецодежду, защитные очки с непрямой вентиляцией и другие СИЗ, указанные в таблице № 2. Для защиты органов дыхания необходимо применять полумаску фильтрующую ФППУ- йодированную.

б) Литийсодержащие отходы (гидратные осадки), гидроокись лития (гидроксид лития, LiOH), хлорид лития (LiCl), хлорид калия (KCl) и их водные растворы, – совокупность едких химических веществ 2 класса опасности. Образуются при фильтрации сточных вод и технологических растворов

представляют собой густую суспензию частиц осажденного хлорида железа, кремния, сульфата бария, карбоната лития в воде. Обладают общетоксическим действием на организм работника и выраженным раздражающим действием на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, имеют щелочную реакцию. ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 0,02 мг/м³ по иону лития.

Попадание литийсодержащих отходов на кожу или в глаза, равносильно попаданию щёлочи и вызывает химические ожоги кожных покровов и слизистых оболочек глаз.

Все вышеперечисленные виды отходов не являются пожароопасным или взрывоопасным материалом.

в) Осадки карбоната лития (Li_2CO_3) - образуются при фильтрации сливных вод, представляют собой густую суспензию частиц карбоната лития, натрия и калия в воде. ПДК в воздухе рабочей зоны – 0,02мг/м³ по иону лития. Осадки карбоната лития являются концентрированной щелочью и соответственно показывают сильно щелочную реакцию на тестовых (лакмусовых) полосках бумаги, относятся к веществам 1 класса опасности. При попадании на тело работника вызывают химические ожоги кожи и слизистых оболочек глаз.

г) Водород (H_2) – горючий газ без цвета и без запаха. В больших концентрациях может вызвать удушье, вследствие уменьшения объёмной доли кислорода в воздухе рабочей зоны. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь. Взрывоопасная концентрация водорода в воздухе составляет от 4% и до 75% объёмных. Взрывоопасная концентрация водорода в кислороде от 4,1% и до 96% объёмных. При образовании смеси в пропорции: два объёма водорода и один объём кислорода (2:1) – образуется так называемая «гремучая смесь» водорода и кислорода, инициатором взрыва, которой может быть резкий звук, солнечный луч, вспышка и т.д., то есть, такая смесь взрывается при любых условиях.

Смесь водорода с хлором в пропорции (1:1) взрывается на свету. Смесь водорода с фтором взрывается в темноте.

г) Серная кислота – сильная двухосновная кислота, в стандартных условиях представляет собой маслянистую жидкость без цвета и запаха. Неочищенная серная кислота имеет желтоватый или буро-желтый цвет. В технике серной кислотой называют ее смеси как с водой, так и с серным ангидридом.

Основные физические свойства: температура плавления – 10,38 °С; температура кипения – 279,6 °С; плотность вещества – 1,8356 граммов на кубический сантиметр.

Смешивается с водой во всех соотношениях г/100 мл. Концентрированная серная кислота является сильным окислителем. Разбавленная серная кислота взаимодействует со всеми металлами, находящимися в электрохимическом ряду напряжений левее водорода (H), с выделением H₂, окислительные свойства для нее нехарактерны.

Серная кислота и олеум – чрезвычайно агрессивные вещества, поражают дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки, вызывают затруднение дыхания, кашель, нередко – ларингит, трахеит, бронхит. ПДК (предельно допустимая концентрация) аэрозоля серной кислоты в воздухе рабочей зоны 1,0 миллиграмм на квадратный метр, в атмосферном воздухе 0,3 миллиграмм на квадратный метр (максимальная разовая) и 0,1 миллиграмм на квадратный метр

6.4. Электробезопасность.

Электробезопасность - это система организационных мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги и статического электричества [39]. В соответствии с «Правилами устройств электроустановок» (ПУЭ), оборудование, используемое в цехе (электродвигатели, приборы и автоматика) питается от напряжения 220 и 380В, следовательно, оно относится к классу оборудования более 1000 В. Производственные помещения, в которых осуществляется технологический процесс, относятся к помещениям без повышенной опасности.

Для обеспечения электробезопасности в цехе применяются отдельно или в сочетании друг с другом следующие технические меры:

а) Защитное заземление. Оно защищает от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим конструкциям, которые вследствие нарушения изоляции оказались под напряжением [39];

б) Малое напряжение - напряжение не более 42 В, используемое для уменьшения опасности напряжения электрическим током;

в) Защитное отключение, обеспечивающее автоматическое отключение и снятие напряжения с электроустановки при возникновении опасности;

г) Изоляция токоведущих частей;

д) Оградительные устройства;

е) Предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

К индивидуальным средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

основные - оперативные штанги и токоизмерительные клещи, диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими ручками и указатели напряжения;

дополнительные - диэлектрические галоши, коврики, плакаты.

6.5. Требования по соблюдению норм естественного и искусственного освещения.

Рациональное освещение производственных помещений и заводской территории имеет большое гигиеническое значение. Правильное освещение облегчает труд и снижает опасность травматизма.

Естественное освещение более благоприятно для зрения и более экономично. В производственном помещении предусмотрено естественное освещение, осуществляемое через оконные и другие остеклённые проёмы; искусственное - светильниками.

В данном случае вид естественного освещения боковой, разряд работ - 4, вид работы по степени точности - малой точности. Значение КЕО лежит в пределах 0,25 - 10 %.

Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещённости в производственных помещениях нормируется, норма освещения составляет 300 лк.

Искусственное освещение является комбинированным. Используют люминесцентные светильники типа ОДА, ПВЛ - 1.

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$n = \frac{E \times S \times Z \times K}{F \times K_{и} \times m}, \quad (6.1)$$

Где E - нормированная освещенность, $E = 300$ лк;

S - площадь помещения, $S = 114 \text{ м}^2$;

z - поправочный коэффициент, $Z = 1,2$;

F - световой поток одной лампы, ЛД 40 $F = 2130$ лм;

K - коэффициент запаса, $K = 1,5$;

m - число ламп в светильнике, $m = 2$;

$K_{и}$ - коэффициент использования $K_{и} = 1$.

$$n = \frac{300 \cdot 114 \cdot 1,2 \cdot 1,5}{2130 \cdot 1 \cdot 2} = 12. \quad (6.2)$$

6.6. Требования по соблюдению норм по шуму.

В химической промышленности часто оснащение предприятий мощными и быстро движущимися машинами и механизмами приводят к тому, что человек постоянно подвергается воздействию шума все возрастающей интенсивности.

Минимальная сила звука, которая воспринимается ухом человека, называется порогом слышимости. Силу звука, приводящую к болезненным ощущениям, называют болевым порогом. Силу звука измеряют децибелами (дБ). Если порог слышимости оценить в 0 дБ, то болевой порог характеризуется силой звука, равной 80 дБ.

При конструировании машин и оборудования там, где это возможно, заменяют возвратно - поступательное движение на вращательное, применяют лучшие кинематические схемы с более равномерным ходом, ослабляют звучание ударных частей путем уменьшения размаха колебаний и ограничения размеров поверхностей, соударяющихся деталей. Вместо металлических деталей все шире применяются бесшумные пластмассовые.

В тех случаях, когда меры по уменьшению шума в источнике его образования исчерпаны, применяют меры снижения шума по пути его распространения. Агрегаты с повышенным уровнем шума и вибрации размещают в отдельных изолированных помещениях. Стены покрывают звукопоглощающими материалами (акустической штукатуркой, перфорированными панелями, стекловолокном и др.). Фундаменты для шумящих машин устанавливают независимо от фундамента здания и от полов, изолируют со всех сторон воздушным промежутком (акустические швы) или заполняют свободное пространство материалом, поглощающим вибрацию (пробка, войлок, шлак и др.).

Если не удастся добиться снижения шума до допустимого уровня, то применяют средства индивидуальной защиты. Их делят на три группы: наушники, вкладыши и шлемы [40].

6.8. Мероприятия по выполнению норм воздухообмена и отопления.

Обеспечение нормальных метеорологических условий и чистоты воздуха на рабочих местах в значительной степени зависит от правильно организованной системы вентиляции. В данном производстве установлена общеобменная приточно - вытяжная вентиляционная система.

Метеорологические условия в производственном помещении:

- в холодное время года $t = 16 - 18^{\circ}\text{C}$;
- в теплое время года $t = 20 - 25^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность воздуха 40 - 60 %.

Обще обменную вентиляцию выбираем согласно СНиП 33-75 с кратностью воздухообмена, равной 5 час^{-1} .

Расход воздуха на обще обменную вентиляцию находим по формуле

$$V_v = V_{\text{зд.}} \cdot n, \quad (6.3)$$

Где $V_{\text{зд.}}$ - объем здания, м^3 ;

n - кратность воздухообмена.

Расход воздуха:

$$V_v = 1080 \cdot 5 = 5400 \text{ м}^3/\text{час}. \quad (6.4)$$

6.9. Пожарная безопасность.

Участок получения раствора гидроксида лития относится к помещениям класса Д, так как технологический цикл сопряжен с обработкой негорючих веществ и материалов, но в нем используется моторное масло для обеспечения работы насосов.

6.10. Защита окружающей среды.

Токсичность соединений урана предъявляет определенные требования к организации производственного процесса. Все меры по предотвращению поступления в атмосферу, почву и водоемы этих продуктов должны быть направлены на локализацию источников выделения производственных вредностей и организацию контроля за их поступлением и содержанием в производственных помещениях и окружающей среде.

1.Соблюдения норм технологического режима на различных стадиях технологического процесса.

2.Выполнения правил эксплуатации технологического оборудования;

3.Постоянного контроля за герметизацией оборудования и трубопроводов;

4.Применения закрытой тары для транспортировки продуктов.

5.Немедленной уборки рассыпанных продуктов.

Заключение

Результатом данной дипломной работы является следующее:

1. Проведен подробный анализ литературных данных о существующих методах переработки литийсодержащих осадков выявлены их преимущества и недостатки;
2. Проведена оценка состояния существующей технологии аппаратного оформления процесса получения LiOH в условиях цеха № 5 ОАО НЗХК.
3. Спроектирован диализатор для конверсии литийсодержащих осадков производительностью 200 кг/год;
4. Разработана схема автоматизации технологического процесса, оптимизирующая управление процессами и повышающая эффективность;
5. Определены основные опасности и вредности, возникающие при производстве гидроксида лития, предложены меры по снижению их воздействия на рабочий персонал;
6. Рассчитаны основные технико-экономические показатели производства гидроксида лития.

Литература

1. Вашман А.А., Петров К.И. Функциональные неорганические соединения лития. Москва: Энергоатомиздат, 1996, с.208
2. Остроушко Ю.В., Дегтярева Т.В. Гидроминеральное сырьё – неисчерпаемый источник лития. Аналитический обзор. Москва, Недра, 1991, с.64.
3. Остроушко Ю.И., Самойлов В.Ф., Дегтярева Л.В., Кузнецов М.А. Перспективы развития литиевого производства в Южной Америке // Атомная техника за рубежом, 1998, № 2, с.19-21.
4. А.С. 1287475(СССР)МКИ С02F 1/58, 1/26. Способ извлечения лития из рассолов./ Н.П. Коцупало. Ю.М. Юхин, Л.Т. Менжерес, Ю.М. Самойлов, и др Заявл. 11.09.85.
5. Заявка 2700748 (ФРГ) VRB C01D 15/02. Способ получения гидроокиси лития с высокой степенью чистоты из рассолов, содержащих галогениды лития и др. щелочных металлов, а также галогениды щелочноземельных металлов./ Brown R., Patrik M., Exton P. Заявл. 10.01.77. Оpubл. 08.09.77.
6. Пат. 2090503, (РФ) МКИ C01D 15/02, B01D 61/44. Способ получения гидроксида лития и его солей.// Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, А.А. Цхай, Л.Т. Менжерес, А.Ф. Жеребилов. Заявл. 06.09.94. Оpubл. 20.09.97. Бюл. № 26.
7. Пат. 2071819 (РФ) МКИ B01D 01/44. Способ получения гидроксида лития из карбоната лития./ В.А. Пермьяков, В.В. Мухин, В.Г. Богомолов. Заявл. 10.06.93. Оpubл. 20.01.97. Бюл. № 2.
8. Максимова И.Н. Свойства электролитов. Москва, Металлургия, 1987, с.128.
9. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Альянс, 2008.

10. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2008.
11. MC Technology Оборудование для напыления [Электронный ресурс] – Режим доступа -http://www.mctse.ru/index.php?option=com_k2&view=item&id=146:монель-400-monel-400&Itemid=253#механические-свойства
12. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов, Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М. «Химия», 1985.
13. Г.В. Макаров, А.Я. Васин. Охрана труда в химической промышленности. М.: Химия, 1989 г.
14. Трудовой кодекс РФ.
15. Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин и др. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. М: Энергоиздат, 1981
16. Некрасова Н.М., Кацевич Л.С., Евтюкова И.П. Промышленные электротермические установки. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1961.
17. Б.М. Злобинский. Производственная санитария. М.: Металлургия, 1969
Seekamp W. Liebigs Ann., 122, 113—115 (1862).
18. Д Финансовый менеджмент: теория и практика: Учебник / Под ред. Е.С. Стояновой, - М.: Перспектива, 1996.
- 19.