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

Институт: Физико-технический
Специальность: Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: химическая технология редких элементов

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Разработка технологической линии процесса каталитического восстановления урана производительностью 1,5 л в час по нитрату урана

УДК 661.1

Студент

Группа	**ФИО**	**Подпись**	**Дата**
0412	Журавлев Николай Андреевич		

Руководитель

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Руководитель технологической группы	Катцын Константин Юрьевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**

Железногорск
2017 г.

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:
Зам. Главного инженера ИХЗ
_____ _____ ___ А.В. Васильев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	**ФИО**
0412	Журавлеву Николаю Андреевичу

Тема работы:

Разработка технологической линии процесса каталитического восстановления урана производительностью 1,5 л в час по нитрату урана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 08.07.2016 г. № 5594/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 января 2017 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	В последние два десятилетия наиболее перспективным способом получения растворов четырехвалентного урана является каталитический с использованием гетерогенных платиновых катализаторов. Гетерогенные платиновые катализаторы широко используют в химии урана. Они позволяют эффективно переводить уран необходимую степень окисления в растворах различного химического состава. В качестве носителя платины используется смола ВП-1АП. Темой работы является разработка каталитической колонны восстановления урана.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	**1. Введение.** **2. Аналитический обзор.** **3. Описание аппаратурно-технологической схемы.** **4. Расчетная часть.** 4.1. Расчет материального баланса. 4.2. Расчет теплового баланса. 4.3. Расчет электронагревателя. 4.4. Расчет толщины теплоизоляции. 4.5. Расчет габаритов каталитической колонны. **5. Механический расчет.** **6. Гидравлический расчет.** **7. Строительная часть.** **8. Автоматизация процесса.** **9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.** **10. Обеспечение безопасности жизнедеятельности.**
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	1.Аппаратурно-технологическа схема. 2.Схема автоматизации процесса. 3.Блок схема с материальными потоками. 4.План размещения оборудования. 5.Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93..2.034-83).

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Автоматизация процесса	

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Все разделы написаны на русском языке

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	3 октября 2016 года

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель технологической группы	Катцын К.Ю.			3.10.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0412	Журавлев Н.А.		3.10.2016

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики
Уровень образования: инженер
Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»
Период выполнения осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

дипломный проект

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 января 2017 года

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.10.16	1.Введение	3
20.10.16	2.Аналитический обзор	4
26.10.16	3.Описание аппаратурно-технологической схемы	5
	4.Расчетная часть	
31.10.16	4.1 Расчет материального баланса	5
08.11.16	4.2 Расчет теплового баланса	5
16.11.16	4.3 Расчет габаритов каталитической колонны	10
21.11.16	5.Механический расчет	7
28.11.16	6.Гидравлический расчет	5
30.11.16	7.Строительная часть	8
05.12.16	8.Автоматизация процесса	10
13.12.16	9.Финановый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	7
20.12.16	10.Обеспечение безопасности жизнедеятельности	10
26.12.16	11.Заключение	3
30.12.16	Подготовка графического материала	15
10.01.17	Подготовка презентации	10
16.01.17	Подготовка доклада	8
20.01.17	Защита ВКР	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель технологической группы	Катцын Константин Юрьевич			

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зам. главного инженера ИХЗ	Васильев Александр Викторович	Кандидат технических наук		

1. ГОСТ 7.1 – 2003 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

2. ГОСТ 7.9 – 95 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.

3. ГОСТ 7.0.11 – 2004 Система стандартов по информации, библиотечному, и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках.

4. ГОСТ 7.0.12 – 2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила.

5. ГОСТ 7.32 – 2001 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

6. ГОСТ 8.417 – 2002 Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 97 страниц, 7 рисунков, 13 таблиц, 17 источников, 5 листов графического материала.

Ключевые слова: нитрат уранила, нитрат урана (4+), каталитическая колонна, восстановление, гидразин, плутоний.

Объектом разработки является процесс каталитического восстановления нитрата уранила до нитрата урана (4+).

Цель проекта – разработка линии каталитического восстановления урана, а также расчет каталитической колонны как основного аппарата.

В процессе выполнения проекта проводились:

- обзор методов восстановления плутония;
- обзор методов восстановления урана;
- расчет материального и теплового балансов;
- разработка аппаратурно – технологической схемы процесса;
- габаритный, механический и гидравлический расчеты каталитической колонны;
- автоматизация процесса восстановления;
- экономическое обоснование выполненного проекта;
- заключение по работе.

В результате выполнения проекта были разработаны показатели проектируемого процесса. Разработана каталитическая колонна в качестве основного аппарата.

Степень внедрения: разработанная колонна каталитического восстановления позволяет получать продукт качеством, удовлетворяющей процессу переработки ОЯТ. Конструкция колонны выполнена с целью минимизации времени на его монтаж и использования

Область применения: данный технологический процесс предназначен для каталитического восстановления урана (6+) до урана (4+).

Результаты разработки могут быть использованы при создании линии каталитического восстановления урана для промышленных объектов.

Обозначения и сокращения

АСУ ТП	- автоматическая система управления технологическим процессом
АУВП	- автоматическая установка водяного пожаротушения
БМТИ	- блочная мягкая тепловая изоляция
ВВЭР	- Водо-водяной энергетический реактор
ВКР	- выпускная квалификационная работа
ИГК	- Исследовательская горячая камера
ИХЗ	- Изотопно-химический завод
КИП	- контрольно-измерительные приборы
ОДЦ	- Опытно-демонстрационный центр
ОТ и ТБ	- охрана труда и техника безопасности
ОЯТ	- отработавшее ядерное топливо
ПДК	- предельно-допустимая концентрация
ПК	- Пусковой комплекс
РБМК	- Реактор большой мощности канальный
САС	- система аварийной сигнализации
СИЗ	- средства индивидуальной защиты
СНиП	- санитарные нормы и правила
СРК	- система радиационного контроля
СЦР	- самоподдерживающаяся цепная реакция
ФГУП ГХК	- Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно – химический комбинат»
ФСА	- функциональная схема автоматизации
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина
ЯДМ	- ядерно-делящиеся материалы

Содержание

Реферат ... 6

Обозначения и сокращения ... 8

Введение ... 10

1. Аналитический обзор ... 16

2. Описание аппаратурно – технологической схемы ... 34

6. Строительная часть ... 36

7. Автоматизация процесса ... 42

7.1 Составление функциональной схемы автоматизации ... 43

7.2 Описание функциональной схемы автоматизации ... 43

7.3 Перечень технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации ... 67

7.4 Перечень первичных преобразователей ... 68

7.5 Автоматизация процесса с использованием средств ЭВМ ... 68

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ... 70

Введение

ПК ОДЦ предназначен для переработки ОЯТ от реактора ВВЭР – 1000 с выгоранием топлива 50 (ГВт·сут) U сроком вдержки не менее 7 лет.

После реэкстракции урана часть раствора нитрата уранила поступает на колонну каталитического восстановления урана для восстановления урана (6+) до четырехвалентного состояния.

Ионы четырехвалентного урана устойчивы в восстановительной обстановке. Они получаются путем потери двух электронов с s-подуровня 7-го уровня d-подуровня 6-го уровня и f-подуровня 5-го уровня при этом образуется ионы с внешним восьми электронным уровнем аналогичным с благородными газами. Это объясняет их высокую химическую активность по отношению к кислороду и слабую поляризационную способность. Известно, что кислотные или щелочные свойства элементов зависят от отношения валентности к ионному радиусу. Оценку кислотных свойств удобно производить по диаграмме Картледжа:

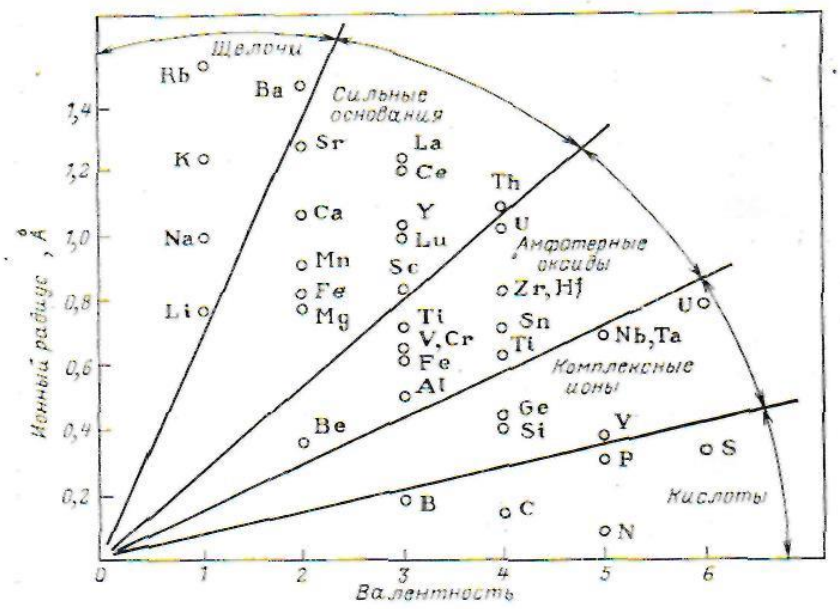


Рисунок 1 – Кислотные и щелочные свойства элементов в зависимости от соотношения валентности и ионного радиуса

Из диаграммы видно, что U^{4+} находится в секторе ионов, обладающих амфотерными свойствами, но примыкает (близок) к основаниям.

Растворы четырехвалентного урана имеют характерный темно-зеленый цвет. Вследствие гидролиза они обладают кислой реакцией. В кислой среде существует простой четырехзарядный ион урана, который сильно гидратирован и имеет состав $U(H_2O)_n^{+4}$, где n от 6 до 8. Этими же исследователями определена константа гидролиза четырехвалентного урана по реакции (1):

$$U^{+4} + 2H_2O = U(OH)^{+3} + H_3O^{+} \quad (1)$$

которая с учетом активностей равна 4,76. При увеличении pH среды гидролиз идет дальше до выпадения в осадок гидроокиси четырехвалентного урана:

Константа равновесия реакции гидролиза по реакции (2) равна 10^{-45}.

$$U(OH)_4 = U^{+4} + 4HOH^{-} \quad (2)$$

В четырехвалентном состоянии уран образует много комплексных соединений, которые широко используются в технологии.

В кислых водных растворах четырехвалентный уран находится в виде простого иона U (4+). Растворы солей урана (4+) имеют кислую реакцию, что указывает на их гидролиз. При глубоком гидролизе возможно образование многоядерных ионов типа $U[(OH)_3U]_n$, а также полимеров $[U(OH)_4]_x$. Гидролиз U (4+) сильно зависит от температуры [1].

Объект разработки: процесс восстановления нитрата уранила до нитрата урана.

Предмет разработки: проект линии каталитического восстановления нитрата уранила, расчет каталитической колонны как основного аппарата разрабатываемого проекта.

Практическая значимость результатов ВКР: результат проекта представляет собой технические и экономические данные для реализации процесса каталитического восстановления нитрата уранила до нитрата урана, как части технологической цепочки по переработке ОЯТ реакторов типа ВВЭР-1000 на ПК ОДЦ.

1. Аналитический обзор

Методы восстановления плутония (4+)

Диоксид плутония плохо растворяется в кислотах. Для растворения оксида необходимо перевести плутоний (4+) в трехвалентное состояние. Также восстановление плутония применяется в PUREX-процессе экстракционного разделения плутония от урана.

Восстановление железом (2+)

Двухвалентное железо используют при восстановлении плутония (4+) либо в форме сульфамата, либо нитрата. При использовании сульфамата железа увеличивается солевой состав водных рафинатов, а образующиеся сульфат-ионы оказывают коррозионное действие на аппаратуру, особенно при упарке. Ионы железа (2+) быстро восстанавливают плутоний (4+) до трехвалентного состояния по реакции (3):

$$Fe^{2+} + Pu^{4+} = Pu^{3+} + Fe^{3+} \quad (3)$$

Сульфат ион взаимодействует с азотистой кислотой по реакции (4):

$$NH_2SO_3H+HNO_2 = N_2+H_2SO_4+H_2O \quad (4)$$

предохраняя ионы железа от окисления.

Также в качестве восстановителя можно применять нитрат железа (2+). Кинетически процессы восстановления плутония нитратом и сульфаматом железа (2+) подобны. Однако при использовании нитрата железа (2+) требуется добавление в восстанавливающий раствор стабилизатора, главным образом гидразина, который как и сульфамат-ион взаимодействует с образующейся в процессе восстановления азотистой кислотой:

$$N_2H_4+2HNO_2 = N_2+N_2O+3H_2O \quad (5)$$

Восстановление нитратом гидроксиламина

Восстановление Pu (IV) в избытке гидроксиламина протекает по уравнению (6):

$$4Pu^{4+} + 2NH_3OH^+ \rightarrow 4Pu^{3+} + N_2O + H_2O + 6H^+ \quad (6)$$

Характерными особенностями этой реакции являются резкое снижение ее скорости по мере уменьшения концентрации Pu (IV) и роста концентрации продукта – Pu (III), сильная обратная зависимость скорости от кислотности раствора (пропорционально HNO_3) и высокое значение энергии активации. Отсюда следует, что даже относительно небольшие колебания концентрации HNO_3 или температуры должны приводить к заметному изменению скорости восстановления Pu. При увеличении концентрации HNO_3 от 0,5 до 0,6 моль/л скорость реакции уменьшается в 2 раза, а при снижении температуры на 5 °С (в интервале от 25 до 35 °С) – более чем в 3 раза.

Кинетические особенности реакции (6) обязывают строго выдерживать заданный кислотный и температурный режим процесса реэкстракции Pu гидроксиламином. Очевидно, более полному восстановлению Pu способствуют снижение концентрации HNO_3 и увеличение температуры, однако при этом возрастает риск полимеризации Pu (4+).

Оптимальными для реэкстракции Pu являются кислотность 0,3 моль/л HNO_3 и концентрация нитрата гидроксиламина 0,1 моль/л. Рекомендуется поддерживать отношение $[HNO_3][NH_2OH]/[Pu]$ в достаточно узком интервале – от 2,5 до 3.

Восстановление ураном (4+)

Четырехвалентный уран как восстановитель сильнее двухвалентного железа. Уран (4+) восстанавливает плутоний (4+) по реакции (7):

$$2Pu^{4+}+U^{4+}+2H_2O = 2Pu^{3+}+UO_2^{2+}+4H^+ \quad (7)$$

В заметной степени на кинетику процесса влияет концентрация урана (4+). Чем выше концентрация урана (4+) в восстанавливающем растворе, тем эффективнее протекает процесс восстановления. Константа скорости реакции, определенная в водной фазе, достаточно велика, чтобы обеспечить быстрое восстановление плутония (4+) ураном (4+). В отличие от

процесса восстановления плутония (4+) железом (2+), который протекает только в водном растворе, процесс восстановления плутония (4+) ураном (4+) происходит как в водной, так и в органической фазах.

В промышленных условиях расход восстановителя превосходит его стехиометрическое количество, причем перерасход урана (4+) по сравнению с железом (2+) гораздо выше.

В условиях производства на восстановление плутония железа (2+) расходуется в 2 – 3 раза больше расчетного количества, а урана (4+) в 4 – 5 раз. Плутоний (3+) выводится с водной фазой, а избыточный уран отделяется экстракционным методом.

Электрохимическое восстановление плутония

В сложной системе кислота – гидразин – уран – плутоний при электролизе протекает большое число химических реакций. Суммарная реакция восстановления урана (6+) до урана (4+) на катоде при достаточно высокой концентрации кислоты описывается уравнением (8):

$$UO_2^{2+}+2\bar{e}+4H^+ = U^{4+}+2H_2O \qquad (8)$$

Параллельно может протекать обратная реакция окисления урана (4+) на аноде:

$$U^{4+}+2H_2O = UO_2^{2+}+2\bar{e}+4H^+ \qquad (9)$$

Восстановление плутония в системе осуществляется как путем катодного восстановления плутония (4+) до трехвалентного состояния, так и при взаимодействии его с образующимся при электролизе ураном (4+) [2].

В данном проекте был выбран метод восстановления плутония (4+) ураном (4+). Восстановление плутония (4+) ураном (4+) можно считать самым эффективным по сравнению с восстановлением железом (2+), электролитическим методом и восстановлением нитратом гидроксиламина по ряду факторов:

– Высокая степень восстановления плутония.
– Не вводятся посторонние ионы в систему.

– Возможное восстановление плутония (4+) как в водной, так и в органической фазах.

Многие соли урана (4+) выделены в твердом виде из растворов путем осаждения или выпаривания. Большинство солей окрашены в цвета от светло-зеленого до темно-зеленого, за исключением безводного $U(C_2O_4)_2$ сине-фиолетового цвета.

Электролитическое восстановление урана (6+)

Восстановление урана (6+) электролизом является более продолжительным, чем восстановление на катализаторах. Однако оно имеет ряд преимуществ, что одновременно с восстановлением (6+) достигается отделение значительного количества примесей. При восстановлении урана (6+) электролитическим методом наряду с ураном (4+) образуется некоторое количество урана (3+), который легко окисляется воздухом до урана (4+).

Неудобством электролитического восстановления является образование перекисных соединений, часто искажающих результат объемного определения. Для устранения этого недостатка восстановление рекомендуется проводить с применением изолированного анода (отделенного диафрагмой).

Способ состоит в проведении электролиза при постоянной плотности тока на электродах в ячейке без диафрагмы в растворах серной кислоты, содержащих ионы восстанавливаемого урана и стабилизирующий агент (гидразин или карбамид), причем в качестве анода используется электрод из диоксида олова.

При использовании в качестве анода платины или платинированного титана в процессах электро-восстановления урана наблюдается постепенное торможение реакции восстановления иона уранила из-за увеличении скорости обратной реакции окисления на аноде урана (4+) с ростом концентрации урана (6+), а также увеличение скорости разложения "стабилизатора", происходящее также на аноде. Причиной такого поведения системы, приводящего в конечном итоге к неполному восстановлению иона уранила является то

обстоятельство, что платина электрохимически активна по отношению к урану и к «стабилизатору», и в катодной, и в анодной областях. В отличие от платины диоксид олова достаточно эффективен в катодной области потенциалов, однако электрохимически инертен по отношению к иону уранила и к "стабилизаторам" (гидразину и карбамиду) в анодной области.

Восстановление U (6+) до U (4+) происходит в электролизных ваннах.

Механизм восстановления на катоде:

$$UO_2^{2+}+2\bar{e}+2H_2SO_4 = U(SO_4)_2+2H_2O \quad (12)$$

Механизм восстановления на аноде:

$$SO_4^{2-}-2\bar{e} = SO_4 \quad (13)$$

Для предотвращения выпадения $U(SO_4)_2$ в осадок ввиду его малорастворимости к раствору добавляют комплексообразователи – ионы NH_4^+.

Водный раствор сульфата уранила пропускают через электролизную ванну, на выходе из которой получают сульфат урана. Анодом служит крышка ванны, катодом корпус. Одним из недостатков этого способа является загрязнение раствора сульфатом свинца, образованным в результате растворения свинцовых анодов. Вид электрохимической ванны восстановления представлен на рисунке 2:

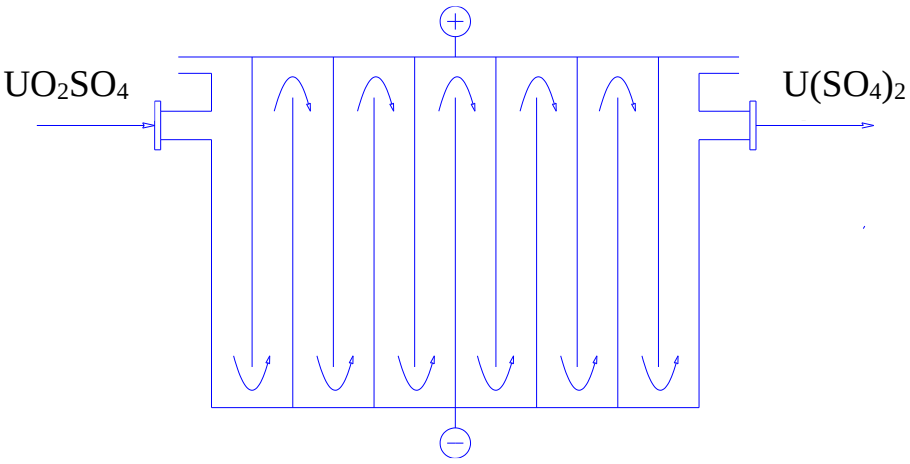


Рисунок 2 – Электрохимическая ванна для восстановления сульфата уранила до сульфата урана

Корпус ванны выполнен из листового свинца, коррозионностойкого в сернокислотной среде, с 20 поперечными перегородками, электролизными ячейками, которые выполняют роль катода. В каждую ячейку помещен анод в чехле из полихлорвиниловой пористой ткани для изоляции раствора от атомарного кислорода. Сбоку аноды электроизолированы от корпуса винипластовыми вставками [4].

Каталитическое восстановление урана (6+) гидразином в сернокислых средах

Одним из основных методов получения четырехвалентного урана из сернокислых растворов является восстановление сульфата уранила в присутствии гидразина.

Гидразин (диамид) $H_2N\text{-}NH_2$ – бесцветная, сильно гигроскопичная жидкость с неприятным запахом. Температура кипения $T_{кип}$=113,5 °С. Одной из весьма характерных реакций гидразина в водном растворе является его способность действовать в качестве восстановителя. Водные растворы гидразина используют для восстановления различных металлических ионов до металлов таких как медь, серебро, золото и металлы платиновой группы. Гидразин способен восстановить уран (6+) до урана (4+) в сульфатной форме.

Окисление гидразина не всегда происходит с образованием азота; при этом могут получаться различные продукты, а именно азот, аммиак и азотная кислота.

$$UO_2SO_4+N_2H_6SO_4+H_2SO_4=U(SO_4)_2+SO_2\uparrow+N_2\uparrow+4H_2O \quad (14)$$

Водные растворы гидразина очень легко подвергаются окислению кислородом воздуха с образованием некоторого количества перекиси водорода в качестве начального продукта реакции. Поэтому при соприкосновении с воздухом разбавленные растворы гидразина легко подвергаются разложению. Гидразин является взрывопожароопасным веществом, поэтому при использовании водных растворов гидразина для проведения синтезов, а также при количественном определении гидразина необходимо четко соблюдать технику безопасности и осторожность. Разложение гидразина может быть предотвращено только при условии хранения его растворов в атмосфере азота.

Гидразин начинает с заметной скоростью восстанавливать уран (6+) в серной кислоте в присутствии Pt/SiO_2 уже при комнатной температуре.

При увеличении температуры процесса до 60-62 ºС скорость восстановления урана заметно увеличивается, но при дальнейшем увеличении степень восстановления уменьшается, за счет увеличении скорости разложения гидразина.

Изменение концентрации серной кислоты в пределах от 0,1 до 1,0 моль/л практически не сказывается на скорости восстановления. В интервале концентраций гидразина от 1 до 4 моль/л в H_2SO_4 при 60 °С константа скорости возрастает от 0,14 до 0,19 мин$^{-1}$. Использование более высоких концентраций сернокислого гидразина невозможно из-за его ограниченной растворимости. Дальнейшее повышение его концентрации не приводит к заметному увеличению скорости восстановления вследствие адсорбционной природы каталитического процесса.

Таким образом, каталитическое разложение гидразина в сернокислых растворах становится существенным только при 60 °С. В тоже время, восстановление урана (6+) протекает с заметной скоростью уже при комнатной температуре [5].

Нитрат урана

Нитрат четырехвалентного урана представляют собой зеленые кристаллы плотностью 4,3 г/см^3. Раствор урана (4+) получают растворением соли в азотной кислоте в присутствии «стабилизатора» (гидразин, карбамид), необходимого для предотвращения окисления урана (4+) до урана (6+).

Существуют несколько методов получения раствора четырехвалентного нитрата урана:

1. Восстановление амальгамированными металлами.
2. Фотохимическое восстановление нитрата уранила.
3. Каталитическое восстановление нитрата уранила на платиновом или рутениевом катализаторе в присутствии гидразина.

Восстановление амальгамированными металлами

Восстановление цинком и его амальгамой

Для восстановления урана (6+) используется как металлический цинк, так и его твердые амальгамы. Металлический цинк полностью восстанавливает уран (6+) до урана (4+) при кипячении азотнокислого раствора уранила.

При восстановлении урана амальгамированным цинком основная часть урана переходит в четырехвалентное состояние и лишь незначительное в трехвалентное, причем достигнуть определенного соотношения между образующимся ураном (4+) и исходным ураном (6+) не удается. Уран (3+) легко окисляется до урана (4+) кислородом воздуха. Для этого необходимо раствор, содержащий уран, после восстановления перемешивать на воздухе или пропускать через него струю воздуха в течение нескольких минут. Четырехвалентный уран устойчив в холодных сернокислых растворах, в горячих растворах медленно окисляется. На холоду окисление урана (4+) не

наблюдается, даже если оставить раствор на некоторое время, перемешивая его.

Восстановление кадмием и его амальгамой

Кадмий является более слабым восстановителем по сравнению с цинком и восстанавливает уран (6+) до урана (4+); уран (3+) образуется в незначительных количествах. Восстановление металлическим кадмием проводят в растворах, 1,5 М по азотной кислоте.

Восстановление урана (6+) жидкими кадмиевыми амальгамами проводят точно так же, как и с помощью цинковых амальгам. В отличие от восстановления металлическим кадмием, при восстановлении амальгамированным кадмием кроме урана (4+) образуются также заметные количества урана (3+) [3].

Фотохимическое восстановление нитрата уранила

Механизм фотохимического восстановления урана (6+) в присутствии веществ, образующих с ним комплексы, к таким веществам относится $H_2C_2O_4$, состоит во внутримолекулярном переносе электрона от лиганда к атому урана. При этом уран (6+) восстанавливается до урана (5+), который затем диспропорционирует на уран (6+) и уран (4+).

Способность урана восстанавливаться при облучении ультрафиолетовым светом в присутствии электродонородных веществ используется для получения соединений урана (4+) в виде оксиформиата, нитрата, оксалата и некоторых других соединений урана (4+), а также особо активной формы закиси-окиси урана. Эта способность урана используется в химических актинометрах, а в последнее время находит применение в химическом анализе [5].

Каталитическое восстановление на платиновом или рутениевом катализаторе в присутствии гидразина

Восстановление урана на платиновом катализаторе сложный многостадийный процесс. Образующийся атомарный водород взаимодействует с оксидами азота с образованием воды и молекулярного азота.

Процесс каталитического восстановления шестивалентного урана до четырехвалентного состояния проводится в колонне, заполненной катализатором – ионообменной смолой с нанесенной на нее платиной, которая выполняет роль активных центров. Возможное исполнение колонны представлено на рисунке 3:

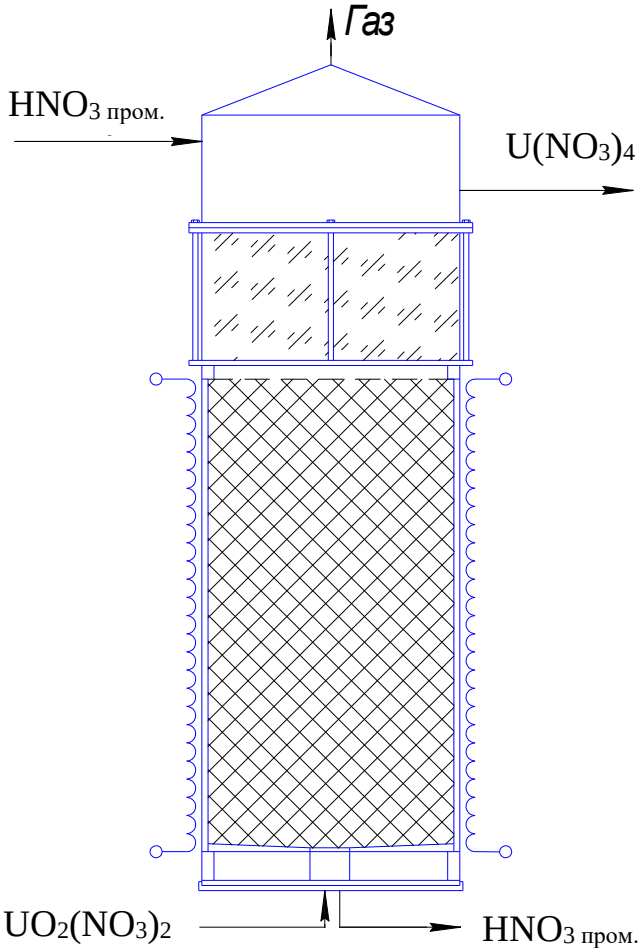


Рисунок 3 – Каталитическая колонна восстановления нитрата уранила в присутствии гидразина.

Суммарная реакция восстановления урана (6+) до урана (4+) из одномолярного азотнокислого раствора шестивалентного урана, стабилизированного гидразином, описывается уравнением (15):

$$2UO_2(NO_3)_2 + N_2H_5NO_3 + 3HNO_3 = 2U(NO_3)_4 + N_2\uparrow + 4H_2O \qquad (15)$$

Процесс восстановления урана на платиновом катализаторе или отношение количества четырехвалентного урана к общему урану зависит от следующих факторов:

– концентрации азотной кислоты в исходном растворе;

– концентрации гидразина в исходном растворе;

– содержание платины в катализаторе;

– температуры процесса восстановления;

– продолжительности контакта исходного раствора с катализатором;

– отношения высоты слоя катализатора к диаметру колонны;

– периодичностью регенерации катализатора (активации).

В процессе восстановления урана образуется монооксид азота, который, взаимодействуя с водой и нитрат ионом, образует азотистую кислоту. Азотистая кислота является катализатором процесса окисления урана (4+) до урана (6+). Гидразин разрушает азотистую кислоту по мере ее образования, стабилизируя реакцию восстановления урана до четырехвалентного состояния:

$$N_2H_4 + HNO_2 = NH_3\uparrow + 2H_2O \quad (16)$$

$$HN_3 + HNO_3 = N_2O\uparrow + N_2\uparrow + H_2O \quad (17)$$

и окисления урана по реакции:

$$4U^{+4} + 3HNO_3 + 2H_2O = 4UO_2^{+2} + 3NO\uparrow + 7H^+ \quad (18)$$

Оптимальная концентрация азотной кислоты составляет 1 моль/л.

Так как гидразин участвует в реакции восстановления урана и стабилизации его в четырехвалентном состоянии, то снижение его концентрации приведет к понижению выхода и устойчивости растворов четырехвалентного урана. Значительное увеличение концентрации гидразина приведет к удорожанию процесса.

Чем выше содержание платины в катализаторе, тем выше выход четырехвалентного урана, но возникают трудности с получением такого катализатора и увеличиваются потери платины. Для обеспечения необходимой производительности узла содержание платины в катализаторе должно быть от 3 до 4 %.

Процесс каталитического восстановления урана сильно зависит от температурного режима. При увеличении температуры скорость перехода урана (6+) в уран (4+) увеличивается, но одновременно с этим увеличивается и скорость разложения гидразина, а, следовательно, увеличивается и расход гидразина. Оптимальный температурный диапазон процесса каталитического восстановления составляет от 55 до 75 °С.

С увеличением продолжительности контакта раствора с катализатором увеличивается выход четырехвалентного урана, но при продолжительности контакта более 4 минут увеличивается скорость разложения гидразина, уменьшается его концентрация и восстановленный уран окисляется до урана (6+). Процесс необходимо проводить со временем контакта фаз не более 4 мин.

Оптимальное отношение высоты слоя катализатора к диаметру колоны равняется 10:1. При меньшем соотношении наблюдаются пристеночные эффекты или перемешивание катализатора. При большем соотношении снижается линейная скорость и увеличивается количество газов в колонне, что приводит к уменьшению выхода четырехвалентного урана.

В процессе эксплуатации происходит отравление катализатора. Катализатор начинает работать на разложение гидразина без восстановления урана. Это происходит из-за накопления газов в колонне, препятствующих доступу раствора урана к катализатору. Наличие оксидов азота и высокой температуры приводит к разложению гидразина. Поэтому через определенный промежуток времени и перед прекращением процесса восстановления урана необходимо проводить активацию катализатора растворами азотной кислоты. Промежуток времени, через который необходимо проводить активацию, определяется опытным путем для каждой партии катализатора и его объема, загруженного в колонну.

При хранении растворов четырехвалентного урана протекают реакции разложения избытка гидразина, содержащегося в смеси. При уменьшении

концентрации гидразина до 18-16 г/л восстановленный уран окисляется до урана (6+) [5].

Катализаторы процесса каталитического восстановления урана

Гетерогенно-каталитические процессы могут быть использованы для стабилизации заданных валентных форм урана в технологических растворах радиохимических производств. В качестве гетерогенных катализаторов обычно используют активированный уголь, мелкодисперсную платину, рутений. В основном носителями платинового или рутениевого катализатора являются ионообменные смолы четвертичных аммонийных оснований (ВП-1АП, ВП-3АП и другие), силикагель, тефлоновая стружка.

Для каталитического восстановления урана в растворах HNO_3 гидразином рассмотрим платиновые катализаторы, нанесенные на аниониты ВП-1АП, А-100 и А-500.

Анионит ВП-1АП – сильноосновный анионит, имеет макропористую структуру. Содержит два вида ионогенных групп: N-метилпиридиниевый азот и пиридиновый азот. Внешний вид – зерна сферической формы от белого до желтого цвета. Зернение рабочей фракции от 0,36 до 1,6 мм; массовая доля рабочей фракции – не менее 90 %; удельный объем набухшего в дистиллированной воде анионита – 3,1 г/см^3; площадь удельной поверхности от 10 до 24 м^2/г.

Анионит А-100 – слабоосновный анионит, имеет в структуре третичные аминогруппы. Зернение рабочей фракции от 0,32 до 1,53 мм; массовая доля рабочей фракции – не менее 90 %; удельный объем набухшего в дистиллированной воде анионита – 2,9 см^3/г; площадь удельной поверхности от 13 до 28 м^2/г.

Анионит А-500 – сильноосновный анионит с четвертичными аминогруппами. Матрица полистиролвинилбензольная, макропористая. Зернение рабочей фракции от 0,38 до 1,63 мм; массовая доля рабочей фракции – не менее 90 %; удельный объем набухшего в дистиллированной воде анионита – 3,4 см^3/г; площадь удельной поверхности от 12 до 26 м^2/г.

Сравним активность катализаторов на основе выбранных анионитов, полученных сорбцией $PtCl_6^{2-}$ из кислых растворов, с соотношением смола: раствор – 1:4 и содержанием 4 % масс платины. Данные накопления урана (4+) приведены в таблице 3 [6]:

Таблица 3. Накопление концентрации урана (4+) моль/л, в растворе, содержащим 0,57 моль/л урана (6+), 1,52 моль/л HNO_3 и 1,23 моль/л гидразина, при температуре 75 °С

Время, мин	Ионит – носитель платины		
	ВП-1АП	А-100	А-500
30	0,06	0,04	0,04
60	0,11	0,10	0,06
120	0,22	0,24	0,09

Из таблицы следует, что катализаторы на основе ВП-1АП и А-100 вполне сопоставимы по эффективности. Катализатор на основе А-500 уступает им по активности.

Рассмотрим оптимальное процентное содержание платины на носителях А-100, ВП-1АП, А-500. Для этого сравним платиновые катализаторы с содержанием платины от 0,5 до 8 мас. %. Данные сравнения эффективности работы катализаторов с различным содержанием платины представлены в таблице 4:

Таблица 4. Накопление концентрации U(4+) моль/л, в присутствии катализаторов с различным содержанием платины на ионите А-100 в растворе, содержащем 0,60 моль/л U(6+), 1,50 моль/л HNO_3 и 1,25 моль/л гидразина, при температуре 75 °С

Содержание платины на носителе, %	Время восстановления, мин		
	30	60	120
0,5	≤0,01	0,01	0,02
1,0	≤0,01	0,02	0,03

2,0	0,03	0,07	0,10
3,0	0,08	0,14	0,19
4,0	0,09	0,17	0,31
5,0	0,13	0,23	0,32
6,0	0,14	0,26	0,35
8,0	0,13	0,29	0,38

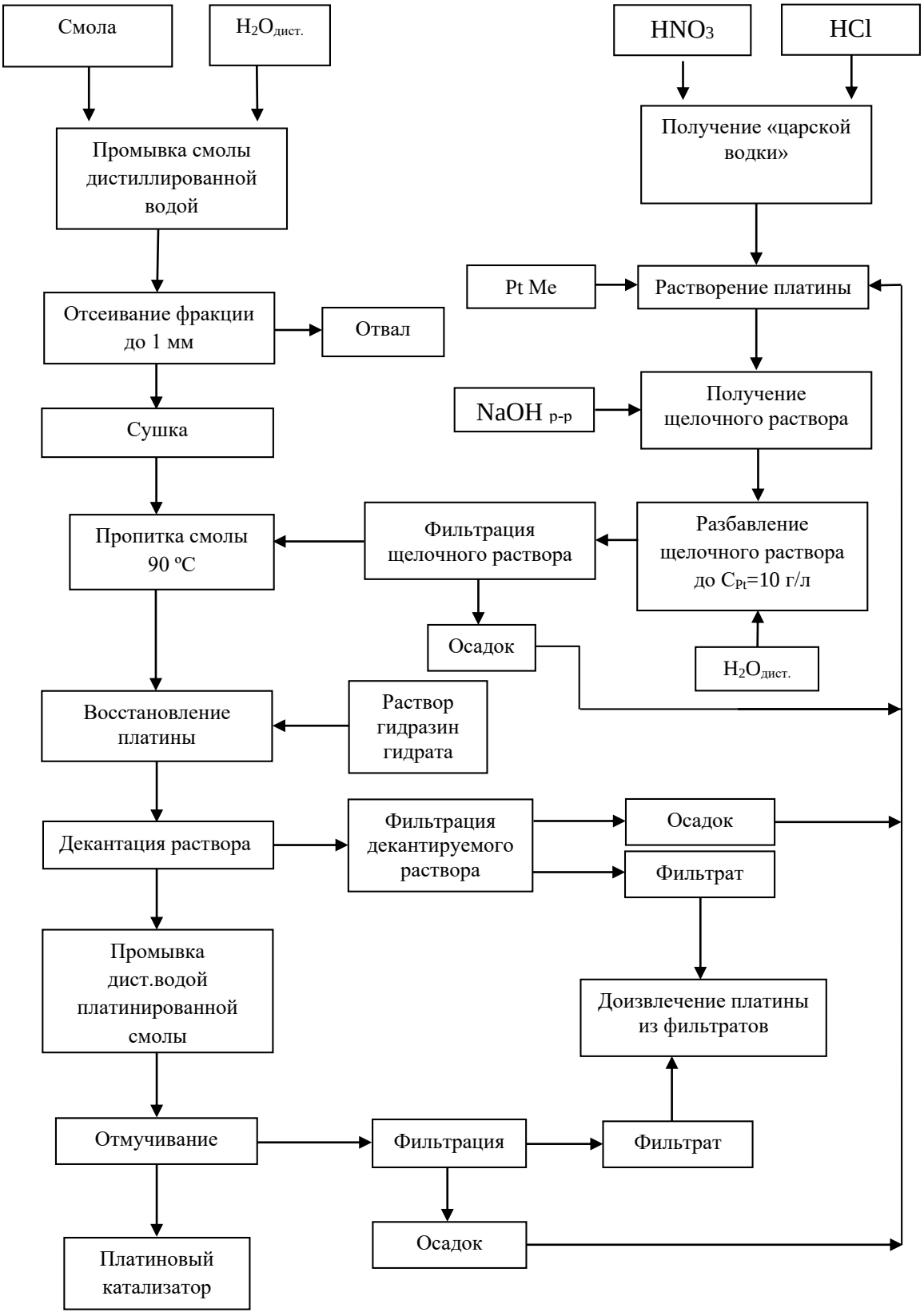
Таблица 5. Накопление концентрации U(4+) моль/л, через 60 мин в присутствии катализаторов с различным содержанием платины в растворе, содержащем 0,4 моль/л U(6+), 1,0 моль/л HNO_3 и 1,0 моль/л гидразина, при температуре 75 °С

Содержание платины на носителе, %	Катализаторы		
	ВП-1АП	А-100	А-500
1,0	0,05	0,04	0,02
2,0	0,09	0,08	0,04
3,0	0,14	0,13	0,06
4,0	0,18	0,17	0,08
5,0	0,23	0,23	0,10
6,0	0,27	0,26	0,12
8,0	0,30	0,29	0,13

Из таблиц 4 и 5 видно, что каталитическая активность платиновых катализаторов пропорционально увеличивается с ростом содержания платины. Увеличение содержания платины с 4,0 до 6,0 масс. % ускоряет реакцию восстановления урана (6+) примерно в 1,5 раза, а повышение

содержания платины с 6,0 до 8,0 мас. % только в 1,1 раза ускоряет реакцию восстановления урана (6+). Поэтому применение этих катализаторов с содержанием платины выше 6,0 мас. % не целесообразно. Лучшие свойства показал платиновый катализатор на смоле ВП-1АП с содержанием от 4,0 до 6,0 масс. %.

Блок-схема получения платинового катализатора на смоле ВП-1АП



Рутений так же как платина, обладает каталитическими свойствами, но часто отличается от них большей селективностью и избирательностью. В гетерогенном катализе используются металлический рутений и его сплавы. Наиболее эффективные катализаторы получаются при нанесении рутения на различные носители с сильно развитыми поверхностями. Во многих случаях его применяют вместе с платиной для того, чтобы увеличить ее каталитическую активность.

Металлорганические соединения рутения находят применение в гомогенном катализе для различных реакций восстановления, причем по селективности и каталитической активности они не уступают признанным катализаторам на основе платины.

Главное достоинство рутения-катализатора в его высокой избирательной способности. Именно высокая избирательность позволяет использовать рутений для синтеза самых разнообразных органических и неорганических продуктов.

При каталитическом восстановлении урана на рутениевом катализаторе (Ru/SiO_2) разложение гидразина в растворах азотной кислоты протекает в по уравнению:

$$8N_2H_5NO_3=4HN_3+N_2O+4N_2\uparrow+2HNO_3+17H_2O. \quad (19)$$

Экспериментальный порядок реакции по концентрации гидразина в интервале $[N_2H_5^+]=(2–6)\cdot10^{-3}$ моль/л составляет $n=(0,52 \pm 0,01)$. В растворах (0,1–0,5) моль/л азотной кислоты порядок реакции по $[HNO_3]$ близок к первому: $n=(0,83\pm0,04)$, но уменьшается до $n=(0,18\pm0,01)$ в более концентрированных растворах $[HNO_3] \geq 6,0$ моль/л.

Рутениевый катализатор содержит рутений на носителе на основе аморфного диоксида кремния. Содержание рутения в катализаторе составляет от 0,2 до 7 % (масс.) в пересчете на материал носителя. Катализатор получают в две стадии: 1 – однократной или многократной обработкой материала носителя водным раствором низкомолекулярного соединения рутения и

последующей сушкой обработанного материала носителя при температуре от 180 до 200 °С; 2 – восстановление, полученного в пункте 1, твердого вещества водородом при температуре в пределах от 100 до 350 °С. Стадию 2 проводят непосредственно после стадии 1 [6].

Существуют катализаторы, в состав которых входит и платина, и рутений. Платиново-рутениевые катализаторы с разным соотношением Pt : Ru изготавливают методом пропитки носителя (например: ионообменная смола) растворами $RuCl_3$ и H_2PtCl_6 с последующей прокалкой на воздухе [6].

При разных условиях приготовления катализатора было замечено различие в интенсивностях. Рассмотрим три Pt: Ru катализатора: $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ (I) синтезировали методом совместного нанесения металлов на SiO_2, а катализаторы $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ (II) и $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ (III) – методом последовательного нанесения: сначала синтезировали монометаллический катализатор, который пропитывали раствором соли 2-го металла, прокаливали на воздухе и восстанавливали в токе аргоноводородной смеси. При нанесении Ru на Pt/SiO_2 получали катализатор (II), а при обратной последовательности нанесения металлов – (III).

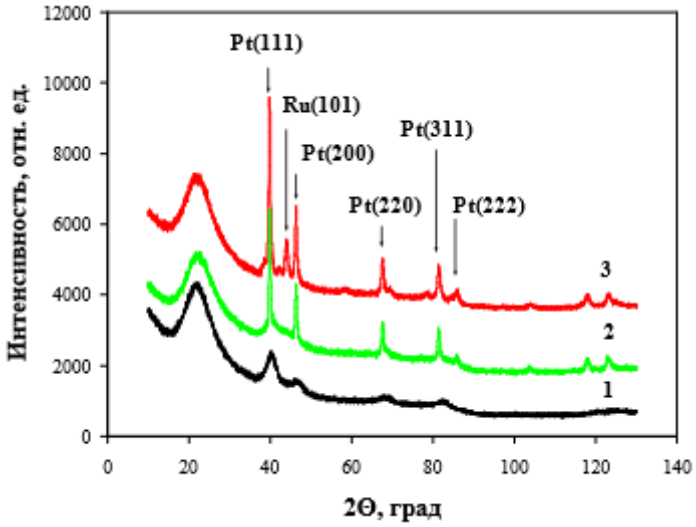


Рисунок 4 – Дифрактограммы 5%-ных платиново-рутениевых катализаторов $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$: 1 – (I); 2 – (II); 3 – (III)

По данным рентгено-флуоресцентного анализа активные фазы катализаторов (I) и (II) имеют гране-центрическую кристаллическую решётку

металлической платины, а в катализаторе (III) формируются две отдельные фазы с гране-центрической кристаллической решёткой металлической платины и гексагональной полуупакованной решёткой металлического рутения.

Активная фаза катализатора (I) является твёрдым раствором Ru в Pt. Катализатор (II) также содержит твёрдый раствор рутения в платине, но при этом часть рутения находится либо в аморфном состоянии, либо образует кристаллиты очень малого размера. В катализаторе (III) фазы имеют параметры, характерные для компактных металлов.

Строение катализаторов $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ (I), (II) и (III) было рассмотрено методом рентгеновского поглощения. На качественном уровне спектры поглощения платины и рутения в катализаторах (I), (II) и (III) сходны с соответствующими спектрами поглощения металлических стандартов.

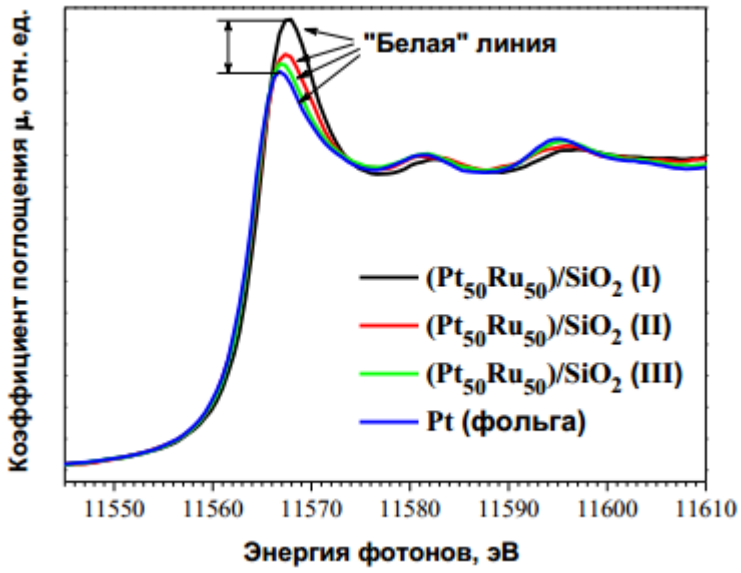


Рисунок 5 – спектры поглощения платины в катализаторах $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ и платиновой фольги

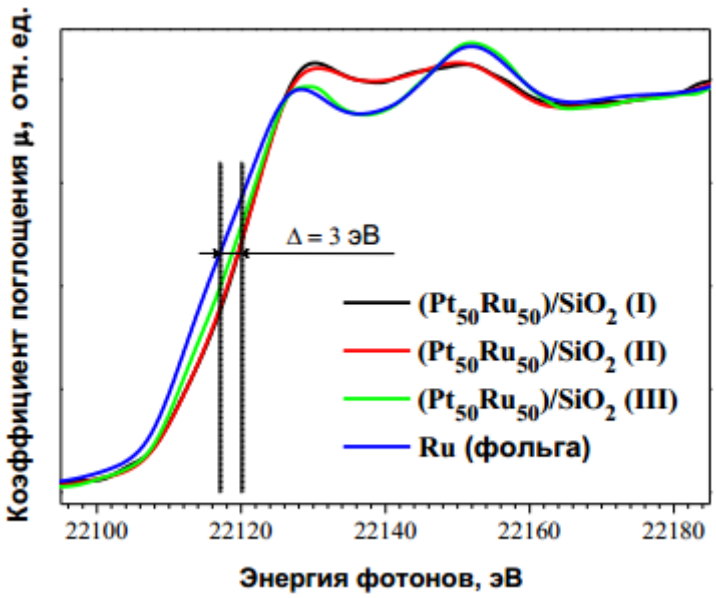


Рисунок 6 – спектры поглощения рутения в катализаторах $(Pt_{50}Ru_{50})/SiO_2$ и рутениевой фольги

Наиболее интенсивно эффекты электродного взаимодействия Pt и Ru проявляются в катализаторе (I), полученном методом совместного нанесения металлов на SiO_2. В катализаторе (II) электродные эффекты ослабевают и практически исчезают в катализаторе (III) [5].

В данном проекте был выбран метод каталитического восстановления урана на платиновом катализаторе по ряду факторов:

– Отсутствие посторонних ионов в системе.
– Малая энергозатратность.
– Простота и компактность оборудования.

2. Описание аппаратурно – технологической схемы

В основе технологического процесса каталитического восстановления урана в азотной кислоте заложена способность урана (6+) восстанавливаться до урана (4+) на платиновом катализаторе гидразином при температуре 75 ºС. Нитрат уранила с концентрацией 72,5 г/л по урану после реэкстракции поступает в промежуточную емкость (1). Кислотность нитрата уранила, после корректировки, составляет 1 моль по азотной кислоте. Из промежуточной емкости (1) нитрат урана дозированно подается 2,674 кг в смеситель (2). Дозирование происходит поворотом регулировочного клапана. По окончанию загрузки смесителя (2) нитратом урана, подается 0,337 кг гидразина из емкости (3) с концентрацией 30 г/л, выступающего в качестве восстановителя урана (6+). Гидразин необходимо добавить сверх стехиометрического количества для дальнейшей «стабилизации» урана (4+). Смеситель (2) оборудован магнитной мешалкой, позволяющей равномерно перемешивать реагенты. Также перемешивание осуществляется насосом (4), одновременно промывая трубный коридор от компонентов предыдущего восстановления. После равномерного перемешивания реагентов происходит отбор проб для измерения состава компонентов в смеси. Подача смеси осуществляется насосом (4) в колонну (5) через нижнюю ее часть под слой катализатора. Так как процесс идет при повышенных температурах, колонну необходимо оборудовать нагревательными элементами. В качестве нагревателя используется витая нихромовая нить.

Время восстановления составляет до 4 минут. Визуальное наблюдение протекание процесса возможно через верхнюю кварцевую часть колонны. Качественными признаками протекания процесса служат газовыделение и изменение цвета раствора от желтого до зеленого. Газовая фаза реакции восстановления поступает в скруббер (6) через вакуумную ловушку (7) эжектором (8) из верхнего штуцера колонны. Ловушка (7) оснащена сигнализатором наличия жидкости, при срабатывании которого можно свидетельствовать о проскоке раствора в сдувочный канал. В скруббер

поступает дистиллированная вода для барботирования окислов азота. Газовая фаза из скруббера (6) поступает в центральную систему газоотчистки. Азотная кислота из скруббера поступает в емкость промывной азотной кислоты (9) насосом (10).

Степень восстановления урана составляет до 50 %. Продуктом каталитического восстановления является смесь с содержанием 1,5 л урана (4+), 1,47 л урана (6+) и 0,215 л гидразина (20 г/л). Концентрацию гидразина в продукте необходимо поддерживать до 20 г/л с целью стабилизации урана в четырехвалентной форме. На выходе продукта происходит отбор пробы для анализа на кондицию продукта. При несоответствии продукта смесь возвращается обратно в смеситель (2) для повторного восстановления.

В процессе эксплуатации каталитической колонны происходит «отравление» катализатора. Катализатор начинает работать на разложение гидразина без восстановления урана. При низком содержании гидразина в смеси уран (4+) окисляется азотной кислотой до урана (6+). При уменьшении степени восстановления урана в колонне необходимо промыть катализатор азотной кислотой.

Перед «активацией» смолы колонну необходимо опорожнить обратно в смеситель (2). Промывку смолы, с целью удаления газообразных продуктов, а также продуктов побочной реакции разложения гидразина проводят азотной кислотой концентрацией 3 моль/л из емкости (9). Отработанная промывная кислота с содержанием продуктов побочной реакции поступает в емкость отработанной промывной кислоты (11). Из емкости (11) отработанная промывная кислота поступает в емкость корректировки кислотности (12) насосом (13) для повторного восстановления. После завершения процесса колонну необходимо опорожнить, повторно промыть азотной кислотой 3 моль и залить промывной кислотой с целью поддержания свойств катализатора до проведения повторного восстановления. При продолжительном времени простоя колонны необходимо наблюдать за давлением в колонне с целью предотвращения создания критического давления в колонне.

6. Строительная часть

Эксплуатируемый участок размещается в пределах согласованной в установленном порядке санитарно-защитной зоны на территории промышленного объекта.

Электроснабжение эксплуатируемых потребителей участка обеспечивается новыми воздушными линиями ВЛ-110 кВ от новой подстанции с 2-мя трансформаторами мощностью на 25 МВт каждый с взаиморезервированием с существующей на площадке ИХЗ подстанцией П-9 110/6 кВт.

Вспомогательные службы участка размещаются в пристройках к основному технологическому корпусу участка с учётом технологических связей и возможностью подключения к существующим инженерным коммуникациям.

Вся конструкция здания выполнена из монолитного железобетона.

По структурному и технологическому признакам участок целесообразно разделить на три цепочки, расположенные, соответственно, между осями «А»-«Д», «Д»-«К» и «К»-«Ф» и пусковой комплекс между осями «34»-«38», «А»-«Ф». При этом в составе одной цепочки находятся блоки близкие (идентичные) между собой по конструктивному исполнению и геометрическим параметрам. На основе анализа конструктивного и объёмно-планировочного решения блоков участка, с точки зрения геометрических и жесткостных характеристик, установлено, что в состав первой цепочки (между осями «А»-«Д») входят блоки насыщенные монтажными залами и другими, значительными по площади и высоте помещениями. По геометрическим параметрам данные блоки имеют прямоугольную форму в плане с соотношением сторон 1/2, отметка покрытия находится на уровне 24 метра. Блоки относящиеся ко второй цепочке (между осями «Д»-«К») также имеют соотношение сторон в плане 1/2, при этом отметка покрытия находится на уровне 35 метров. С точки зрения конструктивного исполнения, данные блоки характеризуются наличием продольных и поперечных стен

расположенных по всей длине и ширине, а также по высоте блока с регулярным шагом до отметки +14.400. Выше указанной отметки располагаются преимущественно монтажные залы и транспортные коридоры. Блоки третьей цепочки отличаются от блоков второй цепочки большими габаритными размерами и соотношением сторон. Указанные блоки имеют соотношение сторон равное единице.

Отметка покрытия находится на уровне 35 метров.

За условную отметку 0,000 принята абсолютная отметка 277,5 м.

Рельеф местности переменный, понижается с запада на восток, в связи с этим глубина котлована под производственный корпус также переменная и изменяется от 4 до 10 метров.

Фундаментом производственного участка служит свайный ростверк с размерами в осях 207×96 м, выполненный из монолитного железобетона толщиной 1000 мм. Свайное основание выполнено из буронабивных свай диаметром 806 мм длиной 20,15 м с использованием извлекаемых обсадных инвентарных труб. Сваи расположены рядами (вдоль цифровых осей) с шагом 2,2 м в ряду, расстояние между осями рядов 1,9 м, сваи в следующем ряду выполнены со сдвижкой 1,1 м по отношению к предыдущему ряду.

Плита свайного ростверка здания разделена на 2 части деформационным швом. Низ ростверка на 269,0 м.

Давление на грунт под зданием около 35 т/м^2, ожидаемая осадка 60-100 мм.

По верху песчаной подушки, выполнена армированная подготовка толщиной 130 мм, на которой расположены монолитные фундаментные плиты из бетона класса В30 толщиной 670 мм, разделённые деформационными швами шириной 170 мм.

Фундаментом пристроек к производственному корпусу служит монолитная железобетонная плита толщиной 800 мм.

Фундаментные плиты и свайный ростверк армируются отдельными стержнями диаметром 25 мм с шагом 200 мм со сгущением сетки (в свайном

ростверке - шаг 100 мм в зонах проекции деформационных швов на свайный ростверк, в фундаментных плитах – днище блоков в нижней зоне под стенами и в верхней в пролетах) в продольном и поперечном направлениях с использованием поддерживающих каркасов.

Для снижения горизонтальных сейсмических нагрузок на сваи между свайным ростверком и фундаментной плитой (днищем здания) предусматривается песчано-гравийная подушка толщиной 600 мм., кроме того, наличие песчаной подушки исключает неравномерные межблочные осадки и крены верхнего строения как при статических, так и при сейсмических нагрузках.

Целесообразность устройства песчаной подушки между свайным ростверком и днищем участка рассматривалась как с точки зрения рационального распределения нагрузок на сваи, так и технико-экономического сравнения вариантов без подушки и с подушкой.

При выполнении фундаментной плиты были рассмотрены факторы, рекомендованные к рассмотрению действующей нормативной документацией:

– введённое в эксплуатацию здание 3а «сухого» хранилища имеет аналогичный тип фундамента, выполнено из монолитного железобетона и неравномерных межблочных осадок за период эксплуатации отмечено не было;

– решение с песчаной подушкой исключает неравномерные межблочные осадки, т.к. под песчаной подушкой расположен единый свайный ростверк, тем самым исключаются дорогостоящие мероприятия по рихтовке подкрановых путей для основных кранов с длиной путей около 200 метров, сложные межблочные проходки для различных типов коммуникаций и др.

Также, прочность здания предопределяется требованиями по биологической защите, в соответствии с которыми требуемые толщины стен превышают значения, необходимые по конструктивным соображениям.

Здание разделено на противопожарные отсеки площадью не более

1040 м^2.

Предусмотрено усиление покрытия между осями 23-26 для установки высотных труб для вытяжной вентиляции диаметрами 3,8 м и 4,5 м, с верхней отметкой 60 м.

участок включает в себя санпропускник (на отметке +7,200) и вспомогательные помещения. Списочный состав персонала 158 человек. Между осями 32-34 располагается узел перегрузки, где осуществляется передача ОЯТ из существующего мокрого хранилища (здание 1).

Коридоры разбиты на участки длиной не более 60,0 м противопожарными перегородками 2-го типа пункт 4.3.3 СП 1.13130.2009 с заполнением проемов противопожарными дверями 2-го типа.

Для доступа на кровлю для тушения пожара через 200 м по периметру здания и на перепадах кровли в соответствии с пунктом 8.3 СНиП 21-01-97 предусмотрены металлические пожарные лестницы типа П1. Кровля плоская, рулонная с внутренним водостоком. Верхний гидроизоляционный слой ПВХ (поливинилхлорид) мембрана «LOGICROOF» V-RP горючестью Г1 (противопожарный сертификат Ка С-Ш.ПБ37.В.00511) Утеплитель – минераловатные жесткие плиты, горючестью НГ ст.13 ч.5 «Регламента». На кровле устраивается молниезащита из металлической сетки диаметром 8 мм с ячейкой не менее 6,0×6,0 м и заземлением токоотводами через 24,0 м по периметру наружных стен.

Противопожарными дверями оборудуются:

- вентиляционные камеры;
- выход из лестничной клетки на кровлю;
- электротехнические помещения;
- эвакуационные выходы из поэтажных коридоров на лестничные клетки;
- помещения категории пожароопасности А, Б, В2, ВЗ, отделяются одно от другого, от помещений других категорий и коридоров.

Противопожарные двери комплектуются:

– устройствами для самозакрывания;

– замками «антипаника» - устройствами, обеспечивающими свободное открытие двери изнутри без ключа (противопожарные двери, устанавливаемые на путях эвакуации);

– стальной жесткой коробкой с уплотнением притвора от холодного и горячего дыма.

Наружные железобетонные стены для соблюдения требуемых параметров теплозащитных характеристик утепленны минераловатными плитами на основе базальтового волокна толщиной 150 мм и облицованы металлическим сайдингом.

Для отделки помещений применены химически стойкие, абосорбирующие материалы. Полы на путях эвакуации выполняются негорючими (наливное эпоксидное покрытие, керамические плитки, мозаичные плиты, бетонный пол).

Помещения, относящиеся к различным санитарным зонам, окрашиваются в различные цвета.

В участке, являющимся сооружением повышенной ответственности, ограждающие конструкции которого должны обеспечивать восприятие воздушной ударной волны силой 10 кПа и удар от падения летательного аппарата весом 5 т, световые проемы для обеспечения персонала естественным освещением отсутствуют. Естественным освещением обеспечены только помещения административно-бытового корпуса.

В помещениях с влажным режимом (санузлы, саншлюзы, душевые) в полах предусмотрена гидроизоляция. Технология не требует проведение мероприятий по пароизоляции помещений.

Для обеспечения защиты персонала от ионизирующего излучения технологические камеры и каньоны выполнены с биологической защитой (железобетонные стены и перекрытия с толщиной 1000 мм, 800 мм), а для исключения сорбции радиоактивных веществ со строительными конструкциями предусмотрена облицовка камер и каньонов

коррозионностоикой сталью. Перегородки запроектированы из бетонного камня, кирпичные (толщиной 190 и 120 мм).

Отапливаемое здание технологического корпуса ОДЦ имеет размеры между осями 4-38, А-Ф ~ 207×96,0 м, высота 37,4 м. Здание имеет 8 надземных этажей и 1 подземный. Высота надземных этажей - 3,6 м, 4,8 м, высота подземного этажа – 6 м.

На участке предусматриваются помещения для систем инженерного обеспечения:

- приточно-вытяжной спецвентиляции;
- спецканализации и водопровода;
- энергообеспечения и электросилового оборудования;
- служб КИП;
- насосное оборудование мерного и реагентного хозяйств;
- трубные решетки;
- узлы мойки и дезактивации перед ремонтом оборудования;
- административно-хозяйственного назначения;
- санпропускники и др.

В камерах размещается основное технологическое оборудование, требующее дистанционного обслуживания, контроля и наблюдения. Камеры оборудованы смотровыми системами, средствами дистанционного обслуживания (манипуляторами, внутрикамерными кранами), светильниками, средствами видео наблюдения.

Предусмотрены операторские помещения, предназначенные для управления, контроля, наблюдения за технологическими операциями, проводимыми в камерах.

Для всех переделов предусмотрен трубный коридор для передачи по трубопроводам радиоактивных растворов как внутри передела, так и между переделами.

7. Автоматизация процесса

В промышленности, при производстве продуктов зачастую требуется постоянно изменять или поддерживать технологический режим работы аппаратов. С целью увеличения качества и объема продукции необходимо автоматизировать все процессы. Для достижения наибольшего эффекта, средства автоматизации должны быть выстроены в автоматизированную систему управления технологическим процессом.

АСУТП – это группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях [11].

Для ведения технологических процессов в оптимальных режимах разработана функциональная схема автоматизации.

Схема автоматизации разрабатывается на уровне частичной или комплексной автоматизации объекта. Для повышения надежности системы управления предусматривается возможность ведения технологического процесса как в режиме автоматического, так и ручного дистанционного управления и переключение режимов управления. Управление объектом должно быть централизованным и осуществляться из операторских пунктов. На местных щитах контроля размешаются контрольно-измерительные и управляющие приборы, необходимые в период отладки и запуска технологического процесса. На щитах и пультах операторских пунктов размещают необходимые контрольно-измерительные приборы, по которым оператор наблюдает за ходом технологического процесса, автоматические регуляторы, изменением установок которых оператор управляет технологическим процессом, а также пускорегулирующие приборы дистанционного управления (переключатели, кнопки управления, ручные датчики и т.д.) [12].

Автоматизация процесса позволяет:

- уменьшить затраты реагентов и электроэнергии;
- уменьшить численность основных рабочих;

– поддерживать производительность и качество продукции на требуемом уровне.

7.1 Составление функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации является основным документом, определяющим функциональную структуру автоматизации технологических установок. ФСА представляет собой чертеж, на котором схематически изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства). Вспомогательные устройства, такие, как редукторы, фильтры для воздуха, источники питания, соединительные коробки на ФСА не показывают. Функциональную схему автоматизации выполняют на одном чертеже, на котором изображают аппаратуру всех систем контроля, регулирования, управления и сигнализации, относящуюся к данной технологической установке [13].

7.2 Описание функциональной схемы автоматизации

Процесс каталитического восстановления урана начинается с подачи нитрата уранила в промежуточную емкость 1, уровень которой регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (1-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (2-1) и верхнего (3-1) уровней. При заполнении емкости 1 срабатывает сигнализация и автоматически закрывается вентиль (4). Далее раствор дозированно поступает в смеситель 2, расход регистрируется, измеряется и показывается расходомером (4-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (6). Уровень смесителя 2 регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (5-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (6-1) и верхнего (7-1) уровней. После загрузки нитрата уранила, в смеситель 2 подается гидразин из емкости 3. Уровень емкости 3 регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (8-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (9-1) и верхнего (10-1) уровней. Заполнение емкости 3 регулируется автоматическим поворотом вентиля (13).

Гидразин дозированно подается в смеситель 2, расход которого регистрируется, измеряется и показывается расходомером (11-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (15). Смешение реагентов в смесителе 2 осуществляется магнитной мешалкой, приводимой в движение двигателем (16). После смешивания реагентов открываются клапаны (17), (18), (19) и смесь реагентов дозированно подается насосом 4 в нижнюю часть колонны 5 под слой катализатора. Расход реагентов регистрируется, измеряется и показывается расходомером (16-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (21).

Давление в колонне 5 регистрируется, измеряется, показывается и сигнализируется датчиком давления (18-1). Газовая фаза поступает в скруббер 6 через вакуумную ловушку 7. Вакуумная ловушка 7 оснащена сигнализатором нижнего уровня (19-1), настроенным на срабатывание при образовании жидкости в ловушке. Разряжение в системе газоочистки осуществляется эжектором 8. Сила разряжения системы регулируется подачей сжатого воздуха в эжектор. Расход сжатого воздуха регистрируется, измеряется и показывается расходомером (20-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (27).

Температура корпуса скруббера регистрируется, измеряется, показывается и сигнализируется термопарой (21-1). Регулирование температуры корпуса скруббера осуществляется изменением расхода охлаждающей жидкости в рубашку охлаждения. Расход охлаждающей жидкости корпуса скруббера изменяется автоматическим поворотом вентиля 29. Температура эрлифта скруббера регистрируется, измеряется, показывается и сигнализируется термопарой (22-1), регулируется изменением расхода охлаждающей жидкости в рубашку охлаждения эрлифта. Расход охлаждающей жидкости эрлифта скруббера изменяется автоматическим поворотом вентиля 31. В скруббер 6 подается дистиллированная вода для орошения окислов азота. Расход воды регистрируется, измеряется и

показывается расходомером (23-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (33).

Образовавшаяся в скруббере 6 азотная кислота поступает в емкость промывной кислоты 9 насосом 10, уровень которой регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (20-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (21-1) и верхнего (22-1) уровней. Регулирование верхнего уровня осуществляется автоматическим поворотом вентиля (37).

По истечению определенного времени останавливается процесс, закрываются вентили (17), (19), открываются (38), (39) и начинается опорожнение колонны в смеситель 2. По окончанию опорожнения закрываются вентиля (21), (38), (39), открывается вентиль (40) и начинается промывка катализатора. Промывная кислота из емкости 9 поступает в колонну 5 наливом. Расход промывной кислоты регистрируется, измеряется и показывается расходомером (30-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля 42. Отработанная промывная кислота поступает в емкость 11. Уровень емкости 11 регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (24-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (32-1) и верхнего (33-1). Из емкости 11 отработанная промывная кислота поступает в емкость 12 насосом 13. Уровень емкости 12 регистрируется, измеряется и показывается уровнемером (24-1), сигнализируется сигнализаторами нижнего (35-1) и верхнего (36-1). Расход корректировочной кислоты регистрируется, измеряется и показывается расходомером (37-1), регулируется автоматическим поворотом вентиля (50).

7.4 Перечень первичных преобразователей

Для контроля технологических параметров процесса каталитического восстановления уранил нитрата выбраны контрольно-измерительные приборы, список которых приведен ниже:

1. Измеритель температуры CEM DT-130:

   Предел измерений: от -40 °С до 120 °С;

Погрешность: ±0,95 %;

Выходной сигнал: от 0 мА до 5 мА.

2. Расходомер-счетчик Взлет-510П:

   Скорость потока: от 0,1 м/с до 20 м/с;

   Погрешность: ±0,95 %;

   Выходной сигнал: от 1 мА до 7 мА.

3. Ультразвуковой датчик уровня UM30 - 12113:

   Предел измерений: от 0,06 м до 0,6 м;

   Погрешность: ±0,95 %;

   Выходной сигнал: от 0 мА до 7 мА.

4. Ультразвуковой сигнализатор уровня UM25 - 13104:

   Погрешность: ±0,95 %;

   Выходной сигнал: от 0 мА до 7 мА.

5. Датчик давления АИР-20А:

   Предел измерения: от 1,0 кПа до 6,0 МПа;

   Погрешность: ±0,1 %;

   Выходной сигнал: 4÷20 мА.

7.5 Автоматизация процесса с использованием средств ЭВМ

Важной составляющей современной автоматизированной системы управления химико-технологическим процессом является эксплуатация электронных вычислительных машин. В структурной схеме ЭВМ должны быть специальные устройства ввода-вывода, которые связывают ее с технологическим процессом. При этом ЭВМ может быть запрограммирована так, чтобы реагировать на системы согласно заданному алгоритму управления. Ручное управление осуществляется обычно лишь в особых случаях: при ремонте аппаратуры, при отладке программы, при начальном пуске технологической линии. В данном проекте рассматривается схема АСУТП с контроллером, непосредственно связанным с ЭВМ.

Характерная особенность таких систем управления состоит в том, что в них контроллер и ЭВМ включается в замкнутый контур автоматического управления и вырабатывается управляющее воздействие, поступающее как сигналы заданий непосредственно на вход к системам автоматического регулирования.

Поскольку в наших системах контур управления замкнут через контроллер, то функции оператора сводятся к общему наблюдению за ходом процесса. Остается необходимость внести коррективы в процесс при изменениях, например, состава исходных веществ, состава вырабатываемого продукта и т.д. [13].

В щитовой находятся: щит технологического контроля, панель сигнализации, пульт оператора, дисплей с клавиатурой. На щите технологического контроля располагаются контрольно-измерительные приборы, панель регулирования. На пульте оператора находятся показывающие приборы, переключатели режима работы, датчики локальных контуров автоматического регулирования, пусковая аппаратура. Для повышения надежности работы оборудования предусмотрен переход с автоматического регулирования к ручному управлению. С помощью дисплея по запросу оператора можно получить информацию о параметрах аварийного участка и при помощи клавиатуры ввести управляющие воздействия, устраняющие аварийную ситуацию.

При разработки системы автоматического регулирования для процесса каталитического восстановления нитрата уранила, были определены параметры технологического процесса, которые контролируются, регулируются и сигнализируются. Была разработана функциональная схема автоматизации для данного процесса.

Благодаря автоматизации были уменьшены затраты реагентов и электроэнергии, уменьшена численность основных рабочих.

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Расчет численности персонала

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

Каталитическая колонна восстановления урана работает в периодическом режиме. Обслуживание колонны входит в обязанности персонала ИГК-8. Для возможности непрерывной работы колоны, с учетом автоматизации процесса необходимо 7 операторов.

Расчет годового фонда заработной платы рабочих

Расчетный фонд складывается из основной и дополнительной заработной платы по формуле (51):

$$З_{год} = З_{осн} + З_{доп.}, \quad (51)$$

Основной фонд заработной платы определяем по формуле (52):

$$З_{осн} = З_{тар} + Д_{пр} + Д_{вред}, \quad (52)$$

где $З_{тар}$ – тарифный фонд;

$Д_{пр}$ – доплата премий (30 % от $З_{тар}$);

$Д_{вред}$ – доплата за вредность (20 % от $З_{тар}$).

Тарифный фонд времени рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени по формуле (53):

$$З_{тар} = Н_{сп} \cdot Т_{эф.раб} \cdot Т_{ст}, \quad (53)$$

где $Н_{сп}$ –число рабочих в сутки;

$Т_{эф.раб}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$Т_{ст}$ – тарифная часовая ставка ($Т_{ст}$ = 124,6 руб.).

$З_{тар}$ = 1·1252·124,6 = 156000 руб.

Доплата премий осуществляется отчислением 30 % от $З_{тар}$:

$$Д_{пр} = З_{тар} \cdot П_{пр}, \quad (54)$$

где $П_{пр}$ – процент отчисления ($П_{пр}$ = 30 %).

$$Д_{пр} = 156000 \cdot 0,3 = 46800 \text{ руб.}$$

Доплата за вредность осуществляется отчислением 20 % от $З_{тар}$:

$$Д_{вред} = З_{тар} \cdot П_{вред}, \quad (55)$$

где $П_{вред}$ – процент отчисления ($П_{вред}$ = 20 %).

$Д_{вред} = 156000 \cdot 0,2 = 31200$ руб.

Рассчитаем основной фонд заработной платы:

$З_{осн} = 156000 + 46800 + 31200 = 234000$ руб.

Рассчитаем дополнительный фонд заработной платы:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot П_{д.зп}, \quad (56)$$

где $П_{д.зп}$ – процент доплаты ($П_{д.зп}$ = 10 %).

$З_{доп} = 234000 \cdot 0,1 = 23400$ руб.

Рассчитаем годовой фонд заработной платы:

$З_{год} = 234000 + 23400 = 257400$ руб.

Рассчитываем полный годовой фонд по заработной платы:

$З = 257400 \cdot 7 = 1801800$ руб.

Расчет затрат на приобретение и монтаж оборудования

Таблица 13. Стоимость оборудования

Наименование	Количество	Цена, руб.
Каталитическая колонна	1	84000
Промежуточная емкость нитрата уранила	1	12000
Промежуточная емкость промывной кислоты	1	13500
Смеситель	1	18000
Промежуточная емкость гидразина	1	11000
Промежуточная емкость коррекционной кислоты	1	12500
Емкость отработанной промывной кислоты	1	13000

Вакуумная ловушка	1	6000
Насос	3	8000
Эжектор	2	8000
Скруббер	1	26000
Фильтр	1	3500
Итого	15	226000

Таблица 14. Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования	Сумма, руб
На технологические трубопроводы	20	4520
На антикоррозионные работы	5	1130
На кабельные разводки	5	1130
На КИПиА	10	2260
На монтаж оборудования	20	4520
На изготовление	20	4520
На вспомогательное оборудование	5	1130
Итого	95	19210

Общие капитальные затраты составят:

$$С_{кап.затр.} = С_{обор} + \sum С_{затр}, \quad (57)$$

$С_{кап.затр.}$ = 226000 + 19210 = 245210 руб.

Общепроизводственные расходы

Содержание и эксплуатация оборудования

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$Ф_{т.р.}$ = 0,15 · 226000 = 33900 руб./год.

Расходы на содержание составляют 5 % от стоимости оборудования:

$З_{сод.}$ = 0,05 · 226000 = 11300 руб./год.

Отчисления на амортизацию оборудования

Амортизация оборудования – 10 % от стоимости оборудования:

$$А_{об.} = С_{затр.} \cdot а, \quad (58)$$

$А_{об.}$ =226000 · 0,1 = 22600 руб./год.

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составит:

$$\sum З = А_{об} + З_{сод.} + Ф_{т.р.}, \quad (59)$$

$\sum З$ = 22600 + 11300 + 33900= 67800 руб/год

Затраты на ОТ и ТБ

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

$З_{ОТ\ и\ ТБ}$ = 0,15 ·257400 = 38610 руб/год.

Отчисления на социальные нужды

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

$З_{соц.}$ = 0,3 · 257400 = 77220 руб/год.

Таблица 15. Калькуляция себестоимости

Статьи	Сумма руб./год
ЗП операторов	1801800
Стоимость оборудования	226000
Содержание оборудования	11300
Монтаж и наладка оборудования	19210
Аммортизация	22600
Ремонтный фонд	33900
Затраты на ОТ и ТБ	38610
Отчисления на социальные нужды	77220
Себестоимость передела	2230640

Стоимость реагентов, необходимых для производства 1 тонны нитрата урана приведена в таблице 13:

Таблица 16. Стоимость реагентов

Наименование	Количество, л	Стоимость, руб.
Гидразин	323	17300
Азотная кислота	611	14420
Итого		31720

Список публикаций

N п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем в п.л. или с.	Соавторы
1	Obtaining sulfur from sulfur hexafluoride and studying the sulfur isotopes properties by using vibrational spectroscopy	Печатная	Procedia Chemistry 15 (2015) 154-159	6	Егоров Н.Б. Журавлев Н.А. Акимов Д.В.