

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

---

Школа: Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки (специальность): 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»  
Отделение школы: «Техническая физика»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА**

Тема работы
Оптимизация расхода газов в технологии получения порошков диоксида урана методом восстановительного пирогиридолиза

УДК: 661.879.094.911-977:546.791

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Вавилов А.В.		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер	Выходцев Е.В.	-		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ТФ				

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

Школа: Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность): 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»  
 Отделение школы: «Техническая физика»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Ведущий инженер  
 \_\_\_\_\_ 26.02.2018 Выходцев Е.В.  
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ6А	Вавилова Андрея Владимировича

Тема работы:

<b>Оптимизация расхода газов в технологии получения порошков диоксида урана методом восстановительного пирогидролита</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15 июня 2018
------------------------------------------	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Объект исследования:</b> <b>участок восстановительного пирогидролита гексафторида урана, а именно: реактор конверсии и печь дообесфторивания.</b>  <b>Производительность участка по товарному регенерату составляет 450 т/год. Состав товарной партии: [U-235] = в зависимости от обогащения: 1,9; 3,6; 4,0; 4,4; 4,95 г/л; [U-234] = 0.0425, [U-236] = 0.0493 г/л, [U-сух] = 87.85 г/л, [HF] = 37 г/л, прочие вещества = 8,92 г/л.</b>  <b>Энергозатраты на 1 кг U = 86,40 руб.</b></p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p><b>Введение.</b>  <b>1. Литературный обзор существующих методов.</b>  <b>2. Технологическая часть.</b>  <b>3. Теоретическое обоснование.</b>                  3.1. Расчет материального баланса.                  3.2. Расчет избытка подаваемых газов.  <b>4. Экспериментальная часть. Результаты исследований.</b>                  4.1. Исследование режимов работы реактора                  4.2. Исследование режимов работы печи                  4.3. Результаты исследований  <b>5. Экономическая часть</b>  <b>6. Социальная ответственность</b>  <b>Заключение</b></p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок-схема с материальными потоками. 2. Схематические рисунки узлов испарения, конверсии, обесфторивания, стабилизации 3. Техничко-экономические показатели.
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	26 февраля 2018 г
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер-технолог	Выходцев Е.В.	-		26.02.2018 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Вавилов А.В.		26.02.2018

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0АМ6А	Вавилов Андрей Владимирович

<b>Институт</b>	<b>Физико-технический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФЭУ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	14.04.02 Ядерные физика и технологии/Ядерные реакторы и энергетические установки

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p> <p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p> <p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

<p>1. <i>Матрица SWOT</i></p> <p>2. <i>Иерархическая структура работ</i></p> <p>3. <i>Календарный план проекта</i></p> <p>4. <i>Бюджет проекта</i></p> <p>5. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i></p>	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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

--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0АМ6А	Вавилов Андрей Владимирович		

## СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0АМ6А	Вавилов Андрей Владимирович

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Ядерно-топливного цикла</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	14.04.02 Ядерные физика и технологии/Изотопные технологии и материалы

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	–опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током. –вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, ионизирующее излучение, шум, вибрация, отклонение показателей макроклимата от оптимальных.
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</i>	–ядерная безопасность; –радиационная безопасность; –электробезопасность; –химическая безопасность; –пожарная безопасность.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ6А	Вавилов Андрей Владимирович		

## Реферат

Магистерская диссертация, 89 с., 19 рисунков, 20 таблиц, 22 источника, 2 приложений.

Ключевые слова: реактор «кипящего слоя», печь дообесфторивания, гексафторид урана, диоксид урана, псевдооживленный слой, водород.

Цель дипломного проекта: совершенствование промышленной технологии получения порошка диоксида урана керамического сорта получаемого методом восстановительного пирогидролита за счет определения оптимальных режимов ведения технологического процесса.

В ходе работы проводились исследования по определению основных факторов, влияющих на качество получаемого порошка.

В результате исследования были сделаны выводы и даны рекомендации по выбору оптимальных режимов ведения технологического процесса.

В ходе выполнения проекта рассчитан материальный пирогидролита. Исследованы режимы подачи газов на участок. Были сделаны выводы и даны рекомендации по выбору оптимальных режимов ведения технологического процесса.

На основании расчётов и проведённых испытаний определена возможность положительного экономического эффекта.

Также рассмотрены основные опасности и вредности на производственном участке, проработаны мероприятия по охране труда, окружающей среды, электро- и противопожарной безопасности, рассчитаны основные технико-экономические показатели участка восстановительного пирогидролита.

## **Обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

ВПГ (ВПГУ) – восстановительный пирогидроллиз (гексафторида урана)

ГФУ – гексафторид урана

ОЗиБТ – охрана здоровья и безопасность труда

ОТ – охрана труда

ОТК – отдел технического контроля

ПШС – планетарный шнековый смеситель

РБ – радиационная безопасность

САС – система аварийной защиты

СИЗ – средства индивидуальной защиты

СЦР – самоподдерживающаяся цепная реакция деления

ТУК – товарный упаковочный контейнер

ЯБ – ядерная безопасность

ЯДМ – ядерный делящийся материал

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	12
1.1. «Сухие» методы получения порошка диоксида урана .....	12
1.2. Газовые методы конверсии ГФУ .....	13
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	21
2.1. Физико-химические свойства веществ основной производственной линии.....	21
2.2. Описание установки ВПГ на ПАО «НЗХК».....	24
2.2.1. Узел испарения.....	25
2.2.2. Узел конверсии.....	26
2.2.3. Узел восстановления и обесфторирования .....	30
2.2.4. Узел стабилизации .....	32
2.2.5. Узел конденсации HF.....	33
2.2.6. Узел дожигания водорода.....	34
2.3. Получение продукта .....	34
3. ОПИСАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В РЕАКТОРЕ И ПЕЧИ.....	37
3.1. Химизм пирогидролита .....	37
3.2. Исследование кинетики процессов пирогидролита в реакторе. ....	40
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	49
4.1. SWOT-анализ.....	50
4.2. Структура работ в рамках научного исследования.....	50
4.2.1. Определение трудоемкости выполнения работ.....	51
4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	52
4.3. Организация труда и заработной платы.....	55
4.3.1. Определение баланса времени одного рабочего .....	55
4.3.2. Расчет численности рабочих, служащих, ИТР и МОП.....	56
4.3.3. Расчет годового фонда заработной платы .....	57
4.4. Расчёт амортизации основных производственных фондов.....	60
4.5. Калькуляция себестоимости .....	61
4.6. Расчёт научно-технического эффекта .....	64
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	66
5.1. Общая характеристика производства.....	66
5.1.1. Анализ опасных и вредных факторов .....	67
5.1.2. Спецодежда и СИЗ .....	69

5.2. Ядерная безопасность .....	69
5.2.1. Основные принципы и требования к ядерной безопасности .....	69
5.2.2. Предельные значения параметров .....	70
5.2.3. Действия персонала при отклонениях от безопасного ведения процесса .....	71
5.3. Безопасность при работе с химическими веществами .....	71
5.4 Радиационная безопасность .....	75
5.4.1. Основы радиационной безопасности .....	75
5.4.2. Радиационная безопасность при работе с ИИ .....	77
8.5. Производственное освещение.....	82
8.6. Шум и вибрация .....	82
8.7. Микроклимат .....	83
8.8. Электробезопасность .....	85
8.9. Пожарная безопасность .....	86
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	88
Список литературы .....	90
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	92
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b> .....	93
<b>Introduction</b> .....	95
<b>Installation description</b> .....	96
<b>Evaporation</b> .....	96
<b>Conversion</b> .....	98
<b>Defluorization</b> .....	100
<b>Stabilization</b> .....	101
<b>Condensation of hydrofluoric acid</b> .....	102
<b>Hydrogen afterburning</b> .....	103
<b>Product acquisition</b> .....	103
<b>Glossary</b> .....	105
<b>References</b> .....	106

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для реакторов на атомных электростанциях наиболее распространенным топливом является диоксид урана в виде керамических таблеток. Изготовление таких таблеток осуществляется методами порошковой металлургии с использованием процессов и приемов, характерных для керамического производства.

Для приготовления порошков наибольшее распространение получили «сухие» методы. Гексафторид урана является монопольным соединением в процессах обогащения урана по изотопу U-235. Пирогидролизом этого соединения получают 25 % ядерного топлива в мире. Порошок диоксида урана керамического сорта используется для изготовления топливных таблеток для реакторов ВВЭР-440, ВВЭР – 1000.

2 сентября 2010 г. ПАО «НЗХК» запустило в эксплуатацию линию по производству порошка диоксида урана методом восстановительного пирогидролиза гексафторида урана (ВПГ) [1]. Использование метода ВПГ в производстве порошка диоксида урана позволяет существенно снизить себестоимость конечной продукции в сравнении с экстракционной схемой, применявшейся на предприятии до настоящего времени. Прежде всего, за счет максимальной автоматизации технологического процесса.

Условия, при которых получают порошки диоксида урана, влияют на его технологические свойства. Проблема заключается в том, что при разных условиях получаются порошки с различными технологическими параметрами: насыпная плотность с утряской, тесты на спекаемость, полная удельная поверхность, фракционный состав. Эти различия влияют на качество изготавливаемых из порошков диоксида урана топливных таблеток. Исходя из этого, существует необходимость в исследовании влияния различных условий на качество получаемого порошка и, соответственно, нахождения таких условий, при которых получились бы порошки диоксида урана с оптимальными технологическими свойствами.

Данная работа направлена на поиск оптимальных режимов работы участка ВПГ с минимальными энергетическими затратами в соотношении к производительности.

В настоящее время на участке ВПГ цеха №10 осуществляется процесс получения порошка диоксида урана методом ВПГ. Сырьём является гексафторид урана с массовой долей изотопа урана-235 не более 5%. [10]

## 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В промышленности порошок диоксида урана керамического сорта получают «сухим» и «мокрым» методами. Основным исходным сырьем для производства диоксида урана обоими методами является летучее соединение урана – гексафторид урана с обогащением по изотопу урана-235 не более 5%. ГФУ используется для разделения изотопов и является конечным продуктом завода по разделению изотопов.

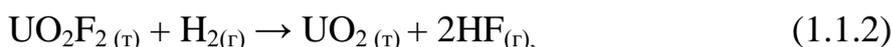
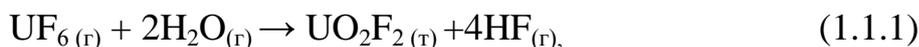
Для «мокрых» схем кроме ГФУ могут использоваться плавы и обороты закиси-окиси урана. Плав – это выпаренный раствор нитратауранила, который получается на радиохимическом заводе, т.е. это регенерированный уран из облученного ядерного топлива. Обратная закись-окись урана – это брак, получаемый на разных стадиях технологического процесса изготовления топливных таблеток, а также брак, полученный при производстве диоксида урана «сухим» методом.

### 1.1. «Сухие» методы получения порошка диоксида урана

«Сухие» методы получения порошка диоксида урана бывают: газовые, газопламенные и плазменные.

К газовым методам конверсии ГФУ обычно относят технологические процессы, основанные на восстановительном пирогилизе ГФУ в газовой фазе при обработке его перегретым водяным паром и водородом.

Конверсия гексафторида урана в диоксид урана восстановительным пирогилизом осуществляется по следующим химическим реакциям:



Газопламенным методы – это технологические процессы, основанные на конверсии ГФУ в окислы урана в кислородно-водородном пламени с последующим восстановлением продуктов реакции до диоксида урана.

В газопламенном методе, конверсия ГФУ в диоксиду урана происходит по следующему механизму:



Плазменными методами называют методы, основанные на плазменно-паровой конверсии диоксида урана в закись-окись урана с последующим восстановлением в диоксид урана.



Основной вклад в создание технологий, основанных на пиролизе, внесли зарубежные компании «WestinghouseElectricCorporation», «GeneralElectricCorporation», «BritishNuclearFuels» и отечественные предприятия ОАО «УМЗ», ОАО «МСЗ», ПАО «НЗХК».

## 1.2. Газовые методы конверсии ГФУ

### DCFB- процесс

DCFB – (DirectConversionFluidBad) – процесс конверсии ГФУ в реакторах «кипящего слоя» или, как их еще называют, «псевдооживленного слоя». В 1977 году компании «WestinghouseElectricCorporation» был реализован четырехстадийный процесс в реакторах кипящего слоя на Колумбийском заводе. В 1982 году фирмой «Siemens» была разработана двухстадийный процесс для реакторов кипящего слоя (DC - процесс), который является гибридным: реактор «кипящего слоя» и вращающаяся печь. Эта идея была реализована на заводах Лингене (Германия), а в 1996 году был запущен завод в Ричлэнде (США).

На рисунке 1 изображена упрощенная схема четырехстадийного процесса.

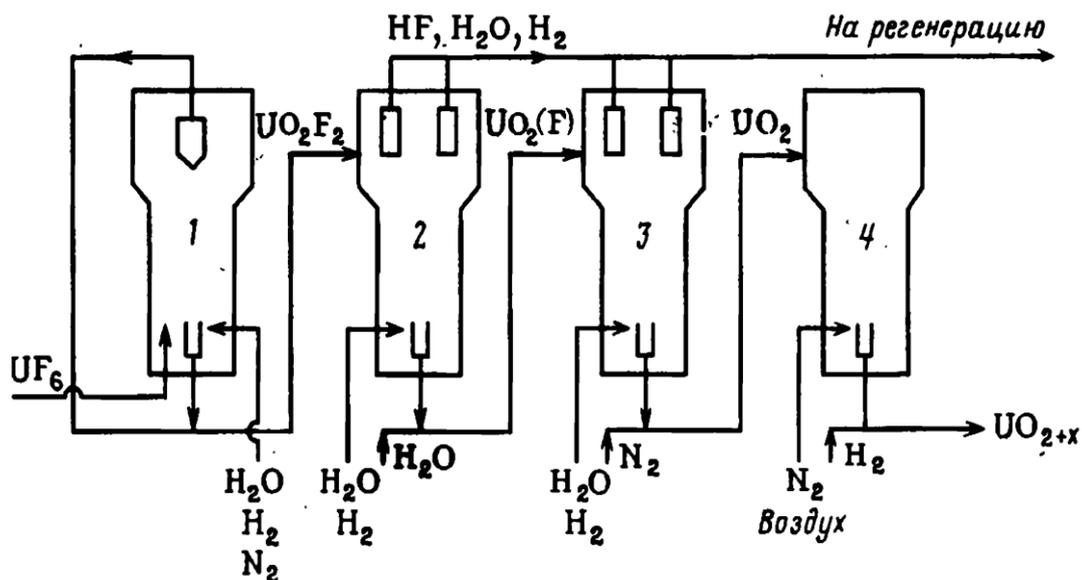


Рисунок 1 – Схема конверсии ГФУ в диоксид урана в каскаде реакторов псевдооживленного слоя: 1 – для пирогидролиза ГФУ; 2 – для восстановления; 3 – для обесфторирования; 4 – для частичного окисления

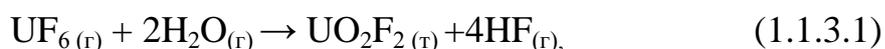
Первый реактор кипящего слоя, в котором осуществляют первую стадию процесса – взаимодействия ГФУ с водяным паром, состоит из двух частей: нижней и верхней реакционных камер. Верхняя часть реактора теплоизолирована, вторая – обогревается. В нижней части реактора имеется перфорированная газораспределительная решетка, под которую подводится газ, служащий для псевдосжижения. В качестве псевдосжижающего газа применяется либо перегретый пар, либо его смесь с водородом и азотом.

В реакционную зону введена трубка с газораспределительной насадкой, служащей для подачи газа ГФУ. Разгрузка частиц осуществляется с помощью автоматического затвора клапанного типа, регулируемого по перепаду давления в слое и настроенного на поддержания массы слоя в реакторе. В верхней части имеется газоотводная трубка с циклоном и патрубком для подачи азота в верхнюю зону реактора. Накопление мелкой фракции в слое предотвращается удалением ее по газоотводной трубке 2 с циклоном. Излишняя агломерация частиц исключается подачей в слой азота

под избыточным давлением к атмосферному давлению 70-500кПа через сопло диаметром 0,5-2мм.

Реактора второй, третий и четвертый имеют аналогичную конструкцию и размеры, за исключением того, что в них отсутствует система подачи ГФУ, а газоотводная трубка с циклоном заменена системой встроенных фильтров, служащих для выделения из газовой фазы увлеченных твердых частиц. Очистку фильтров производят отдувкой азотом.

В первый реактор подается ГФУ, где происходит реакция пирогидролита:



Реакция пирогидролита протекает практически мгновенно с полнотой превращения ГФУ в уранилфторид более 99%. Разбавление газовой фазы азотом обеспечивает существенное улучшение процесса обесфторирования, в схемах установки предусмотрен вывод отходящих газов первого реактора в систему утилизации фтористого водорода. В этом случае транспортирование твердого продукта первого реактора осуществляется перегретым паром. Такое техническое решение позволяет исключить возможность протекания обратной реакции фторирования во втором реакторе.

Во второй реактор поступает практически чистый уранилфторид. Частицы образуют кипящий слой в нижней части реактора. Температура во втором реакторе по источнику [6] – 870-925 К. В качестве псевдосжижающей среды во втором реакторе используют смесь перегретого пара с водородом (6-11 моль водяного пара и 2-4 моля водорода на 1 моль диоксида урана). Во втором реакторе происходит восстановление уранилфторида в диоксид урана с уменьшением удельной поверхности.



Остаточное содержание фтора в полученном диоксиде урана составляет до 0,5% по массе [6]. Отходящие газы со второго реактора фильтруются на металлокерамических элементах и поступают в систему газоулавливания.

Третий реактор работает аналогичным образом. Продукт, получаемый в третьем реакторе, представляет собой чистый диоксид урана с кислородным коэффициентом примерно 2,04. Остаточное содержание фтора в диоксиде урана составляет 0,004-0,07 % по массе. Такой порошок обладает высокой химической активностью и может энергично взаимодействовать с кислородом воздуха. Обращение с ним в производственных условиях изготовления таблеток затруднительно в виду пирофорных свойств диоксида урана. Поэтому его подвергают обработке в четвертом аппарате. Порошок диоксида урана с помощью подогретого азота передают из третьего аппарата в четвертый. В качестве псевдосжижающего газа используется подогретый азот и воздух. Нижняя часть четвертого реактора не обогревается. В этом реакторе диоксид урана контролируемо окисляется до состава  $UO_{2.2-2.3}$ . При этом в диоксид урана дополнительно уменьшается содержание фтора до 0,02% массовых вследствие удаления адсорбированного фтористого водорода.

Таблица 1.2.1 – Достоинства и недостатки метода

Достоинства метода	Недостатки метода
Высокая производительность	Трудноуправляемый процесс
Относительно легкая автоматизация	Большой расход технологических газов
Относительно низкие трудозатраты	Сложная система газоочистки
Относительно низкая стоимость порошка диоксида урана	Отсутствует возможность перерабатывать брак
Отсутствует необходимость в эксплуатации хвостохранилища	
Отсутствует необходимость в экстракционной очистке	

### IDR-процесс

IDR – (IntegratedDryRoute) – технология была разработана в Великобритании в середине 60-ых годов. В середине 70-ых он был модифицирован для производства таблеток диоксида урана с регулируемой плотностью и получил название IDR-CONPOR.

Реакцию пирогидролита ведут во вращающейся печи, смешивая нагретый до 370К поток гексафторид урана с перегретым до 400-570К водяным паром. При взаимодействии образуется дымное облако из тонкодисперсных частиц уранилфторида, при этом температура облака из-за экзотермичности процесса поднимается до 700 – 1000 К. Применение специальной камеры для смешения паров ГФУ с водяным паром, видимо, способствует протеканию пирогидролита на поверхности первичных частиц твердого продукта, их укрупнению и объединению в более крупные. Для удаления основной массы пыли из газов, как правило, применяют циклоны и пористые металлические фильтры. Получаемый уранилфторид имеет сравнительно невысокую удельную поверхность – около 5-6 м<sup>2</sup>/г, реже до 12 м<sup>2</sup>/г.

На второй стадии, которую ведут противотоком твердой и газовой фаз, температуру повышают до 800-1200К, создавая иногда 2-3 температурных зоны. Мольное отношение Н<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О в газовом потоке поддерживают в пределах от 0,25 до 2,0, чаще всего около 1,0. Иногда на заключительной стадии продукт обрабатывается сухим Н<sub>2</sub>. Длительность пребывания твердого материала в печи колеблется от 0,25ч до нескольких часов. Время пребывания продукта в печи может составлять до 5 часов [2].

На рисунке 2 показана схема печи, которая использовалась фирмой Дегусса.

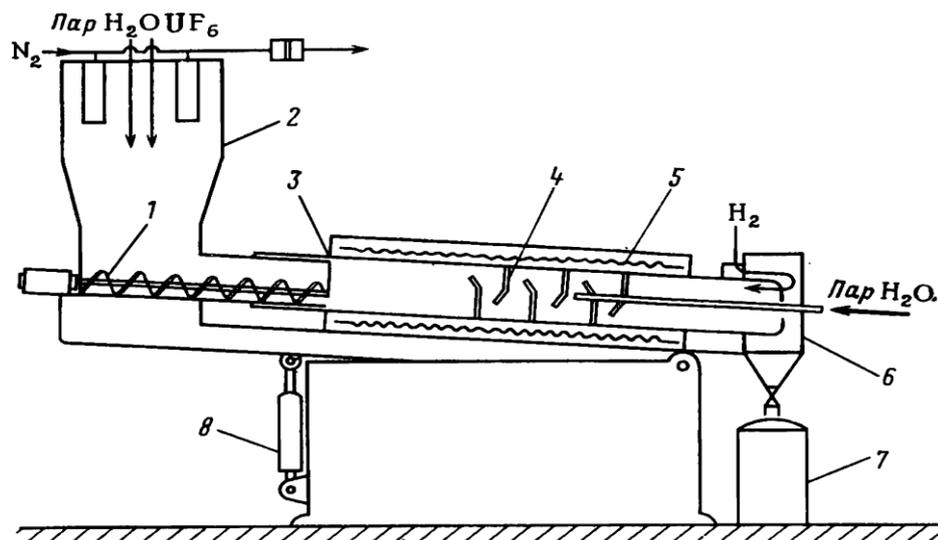


Рисунок 2 – Схема вращающейся печи: 1 – шнек; 2 – камера пирогидролиза; 3 – вращающаяся печь; 4 – перегородки; 5 – электронагреватель; 6 – бункер; 7 – контейнер; 8 – подъемник

Пирогидролиз проводят в камере, стенки которого нагреты до температуры 520-570 К[2]. Такую температуру имеют водород и водяной пар, подаваемые в верхнюю часть камеры в количестве соответственно 60 и 13,5 кг/ч. В ходе реакции температура в «облаке» уранилфторида поднимается до 870-1470К.

Объем камеры сделан таким образом, чтобы увеличить время пребывания вещества в ней и образования крупных частиц уранилфторида, которые проще выделять из отходящих газов. Для предотвращения забивки инжекторов реагентами и для обдува фильтров в верхнюю часть камеры подают и некоторое количество инертного газа (азота). Порошок уранилфторида, осевший на дно камеры, перемещают с помощью шнека в верхнюю часть вращающейся печи. Печь имеет две реакционные зоны. Первая зона по ходу твердого вещества служит для превращения уранилфторида в смесь закиси - окиси урана и двуокиси урана с помощью газовой смеси, содержащей по объему: 66% паров воды, 23% водорода и 11% азота при температуре 870-1030К. Во второй зоне печи смесь оксидов урана восстанавливают до диоксида урана при температуре 1030-1070К

сухим водородом, разбавленным на треть азотом. Границу между двумя зонами определяет место ввода в газовой поток перегретого пара. Печь содержит в своей средней части внутренние перегородки, которые препятствуют обратной диффузии газа; использование их позволяет снизить содержание фтора в продукте на порядок (с  $10^{-2}$  до  $10^{-3}$  % масс.). Обогрев печи осуществляется зонным нагревателем. Наклон печи, а, следовательно, время пребывания в ней твердого вещества, регулируют подъемником.

Частицы порошка, полученные в IDR-процессе, представляют собой дендриты, состоящие из 6-8 тонких игл пирамидальной формы, имеющие диаметр основания примерно 0,1 мкм и длину около 0,6 мкм. Удельная поверхность порошка составляет 5-6 м<sup>2</sup>/г. При обесфторивании в трубчатой печи в условиях высоких температур происходит сфероидизация частиц порошка с образованием из одного дендрита одной крупной сферической частицы, в результате чего удельная поверхность снижается до 1,5 м<sup>2</sup>/г. При более низких температурах (и меньшей нагрузкой на аппарат) сфероидизация идет на более тонком уровне с образованием из одного дендрита нескольких мелких сферических частиц. В этих условиях образуется порошок с удельной поверхностью 2-2,5 м<sup>2</sup>/г, насыпная плотность с 0,7-0,8 г/см<sup>3</sup>, кислородный коэффициент около 2,05, содержание фтора и углерода менее 0,01%, азота и железа менее 0,001% по массе. Стабильность качества в значительной мере определяется тем, что все частицы находятся в реакторе одно и тоже время. Регулируя условия процесса можно завершить обесфторивание до завершения сфероидизации частиц и получить при этом полудендритную структуру частиц порошка. Удельная поверхность таких порошков, получаемых в оптимальных условиях, составляет 2,5-3 м<sup>2</sup>/г.

Таблица 1.2.2 – Достоинства и недостатки метода

Достоинства метода	Недостатки метода
Управляемость процесса	Низкая производительность
Относительно легкая автоматизация	Отсутствует возможность перерабатывать брак
Относительно низкие трудозатраты	
Относительно низкая стоимость порошка диоксида урана	
Отсутствует необходимость в эксплуатации хвостохранилища	
Отсутствует необходимость в экстракционной очистке	

## 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ВПГУ – процесс, реализованный на ПАО «НЗХК» представляет собой «газовый» способ конверсии ГФУ в диоксид урана. Не смотря на схожесть с DCFB-процессом [6] (последовательный каскад аппаратов «кипящего слоя») и IDR-процессом [2] (последовательно соединённые трубчатые печи), ВПГУ-процесс представляет собой «гибридный» процесс, т.е. реактор псевдоожиженного слоя и вращающаяся печь. Такой процесс называется DC – процесс. Преимуществом такой организации процесса является простота. Из получаемого порошка получают таблетки с плотностью более 97,2% от теоретической плотности [6].

### 2.1. Физико-химические свойства веществ основной производственной линии

На участке ВПГ используются следующие вещества:

#### Диоксид урана

Диоксид урана представляет собой порошок темно-коричневого цвета нестехиометрического состава, точная его формула выражается формулой:  $UO_{2+x}$ , где  $X = (-0,01 \div 2,24)$ . Диоксид урана имеет кубическую кристаллическую решетку (рисунок 3) и сохраняет эту структуру при существенном изменении стехиометрии, т.е. имеет довольно широкую область гомогенности [6]. Содержание избыточного кислорода, при котором еще сохраняется кубическая решетка оксида, может увеличиваться до  $UO_{2,17}$  при 1233К и примерно до  $UO_{2,24}$  при 1350К.

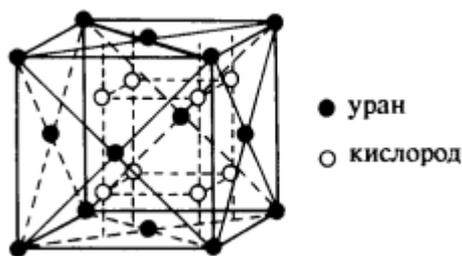


Рисунок 3 – Элементарная ячейка диоксида урана

Теоретическая плотность, найденная рентгенографическим методом, равна  $10,95 \text{ г/см}^3$ . Практическая плотность колеблется в пределах  $10,4\text{--}10,9 \text{ г/см}^3$  [6]. Температура плавления достаточно высокая  $2860 \pm 45^\circ\text{C}$  [3]. Высокая температура плавления диоксида урана обеспечивает надежную работу твэлов даже в случае значительного превышения температуры во всякого рода нерегламентных ситуациях. По мере выгорания топлива и накопления осколков температура плавления диоксида урана понижается. Так, при глубине выгорания  $50000 \text{ Мвт}\cdot\text{сут/т U}$  это понижение составляет  $250\text{K}$  [3].

Диоксид урана имеет низкое давление пара вплоть до  $2000^\circ\text{C}$  (при  $T=2000^\circ\text{C}$  давление паров составляет  $1\text{мм рт. ст.}$ ), что отличает его от других оксидов.

Еще одной важной характеристикой является кислородный коэффициент, т.е. атомное отношение кислорода к урану. Диоксид урана обладает способностью адсорбировать кислород, что приводит к изменениям его физико-химических свойств. С увеличением значения этого параметра увеличивается его ползучесть, т.е. пластичность ядерного топлива, а также увеличивается скорость спекания и диффузии. С другой стороны, с увеличением кислородного коэффициента возрастает коррозия в оболочках твэла. Кроме этого, велика вероятность того, что произойдет реакция диссоциации  $\text{UO}_2$  на  $\text{UO}_3$ . Последний при рабочей температуре топлива имеет высокое давление пара, вследствие чего при наличии температурного градиента неизбежна его миграция по длине твэла, что приводит к перераспределению кислорода в топливе с теми же последствиями. Исходя из этого, значение кислородного коэффициента стремятся поддерживать около  $2,05\text{--}2,07$ .

Существенным недостатком является низкая теплопроводность диоксида урана, которая с увеличением температуры увеличивается.

Низкая теплопроводность диоксида урана является причиной высокой температуры в центре сердечника и больших термических градиентов в

топливе – порядка  $2000^{\circ}\text{C}/\text{см}$ . Это приводит к заметному массопереносу и перестройке структуры топлива в реакторе. Перестройка микроструктуры топлива происходит уже в первые несколько суток работы реактора после загрузки новой партии топлива.

В отличие от теплопроводности, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) высокий и превышает таковой большинства керамических материалов. ТКЛР диоксида урана почти в 1.5 раза больше, чем у циркония. При работе реактора на номинальной мощности топливо за счет радиационного распухания может приводить в контакт с оболочкой, что недопустимо. Поэтому диаметр циркониевых оболочек делают 7,7мм. Диаметр таблеток составляет 7,56мм, а в связи с радиометрической спекаемостью увеличиваются на 0,0-0,4% (до 7,6мм). Таким образом, зазор между таблеткой и оболочкой составляет 1мм [4].

#### Гексафторид урана

При обычных условиях гексафторид урана представляет собой бесцветное кристаллическое вещество, возгоняющееся при атмосферном давлении без плавления. Диаграмма состояния ГФУ приведена на рисунке 4 [5]. Температура возгонки  $\text{UF}_6$  при 760 мм.рт.ст. составляет  $56,5^{\circ}\text{C}$ .

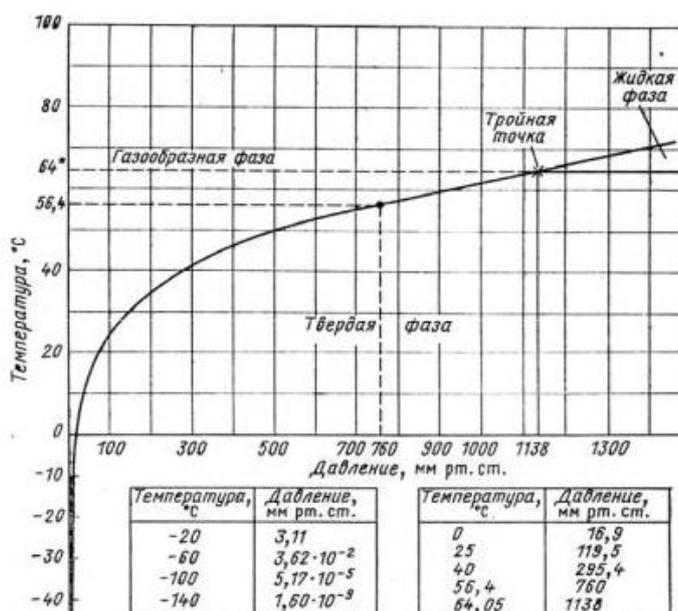


Рисунок 4 – Диаграмма состояния гексафторида урана

При более высоких давлениях  $UF_6$  плавится с образованием прозрачной тяжелой и легко подвижной жидкости. Плотность твердого гексафторида урана –  $5,06 \text{ г/см}^3$ , жидкого –  $3,6 \text{ г/см}^3$ . Минимальное давление, при котором существует жидкое состояние –  $1134 \text{ мм.рт.ст.}$ , минимальная температура –  $64^\circ\text{C}$ .

Гексафторид урана является одним из наиболее химически активных соединений урана.  $UF_6$  является сильнейшим окислителем, превосходя по своей окислительной способности даже элементный фтор. Настоящие технические условия на ГФУ.

## 2.2. Описание установки ВПГ на ПАО «НЗХК»

Технология получения порошка диоксида урана керамического сорта методом восстановительного пирогидролиза урана состоит из следующих основных стадий-узлов: испарения ГФУ, конверсия ГФУ в диоксид урана, восстановления и обесфторирования порошка диоксида урана и его стабилизация, конденсация плавиковой кислоты, дожигания водорода.

Упрощенная технологическая схема изображена на рисунке 5 [7].

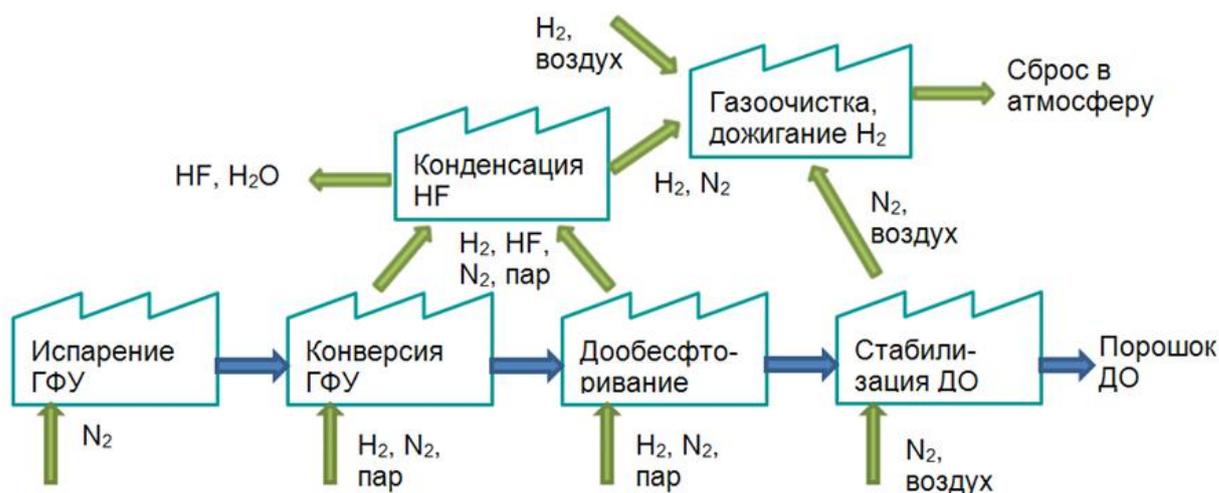


Рисунок 5 – Технологическая схема участка №2

### 2.2.1. Узел испарения

Исходным сырьем для получения диоксида урана является ГФУ, который поступает на участок в ёмкости  $V = 1,0 \text{ м}^3$  [11] (ГФУ в ёмкости упаковывают методом конденсации и конденсационно-насыпным методом). Для проведения процесса испарения участок ВПГУ снабжен двумя автоклавами, обслуживающие оба реактора. Для обеспечения непрерывности процесса, испарения ГФУ ведут из одного автоклава, в то время как в другой автоклав загружается (выгружается) ёмкость с ГФУ или нагревается (охлаждается). Работы на данном участке проводятся в соответствии [10].

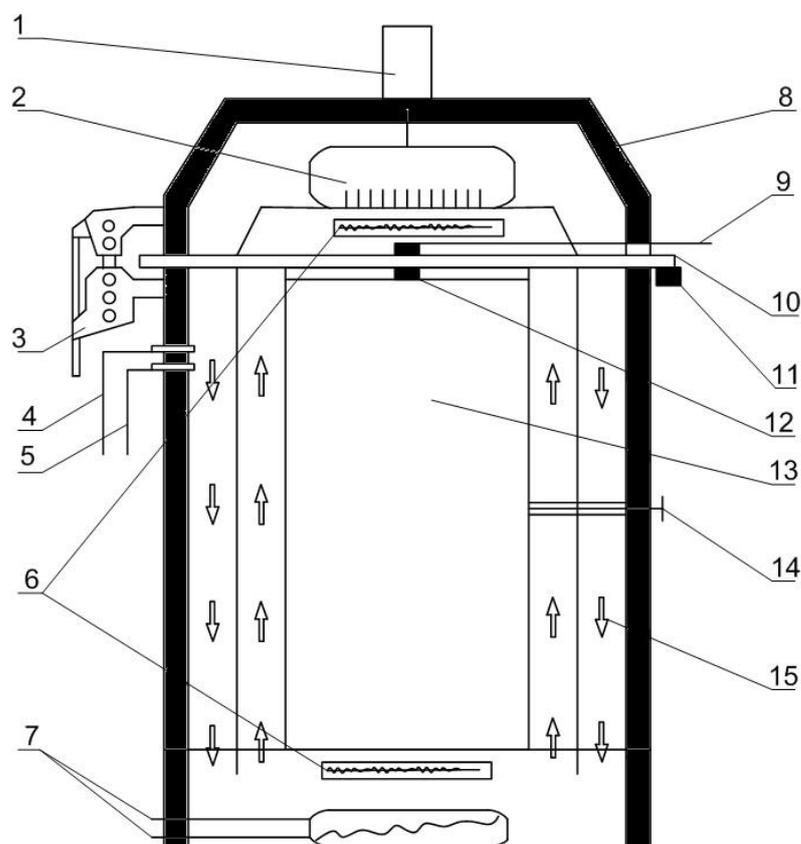


Рисунок 6 – Схематический чертёж автоклава. 1 – Механический привод вентилятора, 2 – вентилятор, 3 – Механический привод крышки, 4 – линия вакуума, 5 – линия подачи сжатого воздуха, 6 – нагреватели, 7 – линия подачи охлаждения, 8 – крышка, 9 – линия расхода ГФУ, 10 – байонетный, 11 – механический привод байонетного затвора, 12 – расходный клапан ГФУ, 13 – ёмкость с ГФУ, 14 – термопара, 15 – направление движения теплоносителя (воздуха)

Нагревание баллона происходит внутри автоклава циркулирующим горячим (разогретым до 100°C) воздухом. В отличие, от «мокрой» схемы, процесса сублимации не происходит, поскольку испарение ГФУ из автоклавов ведется при температуре 100 °С и давлении в 0,15 МПа. Во время нагрева ГФУ переходит из твердого состояния в газовую фазу. Далее, по линии ГФУ отправляется в термошкаф, где происходит разделение линии – одна линия подает ГФУ в один реактор, другая – в другой.

#### Остаточное опорожнение ёмкостей

Движение ГФУ осуществляется за счёт разницы давлений в баллоне и в реакторе. Когда ГФУ в ёмкости заканчивается, то и давление в нём начинает снижаться, что приводит к снижению расхода газа. Существует два способа для максимально полного опорожнения баллона. Первый способ – это опорожнение с помощью откачивающего компрессора, который сначала откачивает газ до определённого момента, а после переключения клапанов «выплёвывает» содержимое в реактор. Второй способ применяется в случае, если компрессор находится в ремонте и заключается в накачке в баллон азота по линии ГФУ до давления 2,4 – 2,5 кПа и дальнейшем выбросе содержимого в реактор. Процедуру повторяют по 7-8 раз.

#### **2.2.2. Узел конверсии**

Узел конверсии состоит из двух идентичных реакторов, в которых происходит конверсия ГФУ в диоксид урана. Система конверсии рассчитана для преобразования газообразного ГФУ в сыпучий порошок диоксида урана с остаточной концентрации фтора менее 1% по массе, и пропускной способностью 1т урана в сутки на одном реакторе. В реакторах происходит реакция:



Конверсию ГФУ в диоксид урана осуществляют в реакторах псевдооживленного слоя, для этого в реактор, на газораспределительную решетку, насыпают предварительно 80-120 кг порошка диоксида урана.

Реактор условно поделен на три температурных зоны: верхняя, средняя и нижняя. В верхней зоны температура поддерживается 450°C, в средней и нижней 625°C. Реакция ведется под небольшим избыточным давлением относительно атмосферного давления, избыточное давление не должно превышать 70кПа. Технологические газы – азот, водород, перегретый водяной пар подаются под газораспределительную решетку. Одновременно с подачей ГФУ подается перегретый водяной пар, которые поступают в реактор через сопло.

#### Условия работы реактора

Реактор состоит из корпуса, крышки, днища, 20 металлокерамических фильтров, газораспределительной решетки (рис. 7).

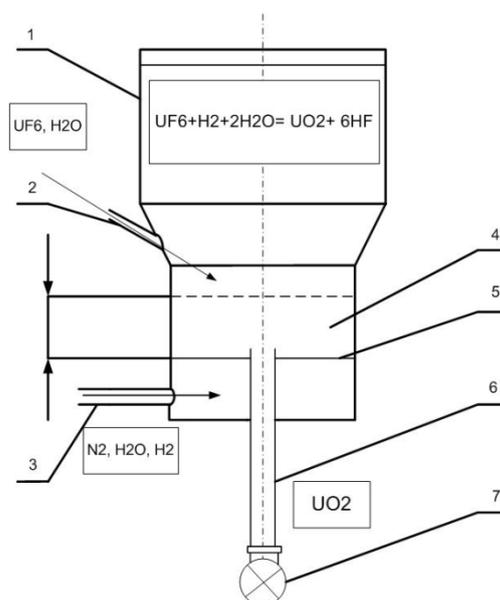


Рисунок 7 – Схематичный чертёж реактора. 1 - корпус реактора; 2, 3 – сопла для подачи реагентов; 4 – псевдооживленный слой; 5 – газораспределительная решетка; 6 – труба для вывода продукта из реактора; 7 – ротационный клапан

Крышка реактора представляет собой полость прямоугольного сечения с 20 резьбовыми отверстиями в верхней части для крепления металлокерамических фильтров. Сверху крышки (с внешней части) расположены приваренные трубки малого диаметра с нарезанной на их внешней стороне резьбой для крепления многоканальных сопел отдувки металлокерамических фильтров азотом. В торцевой части крышки расположен фланец для отвода отходящих газов из реактора.

Днище реактора представляет собой полость прямоугольного сечения. В торцевой части днища по центру расположена труба для ввода технологических газов под газораспределительную решетку. Труба в днище реактора предназначена для выгрузки реактора.

Металлокерамические фильтры имеют форму цилиндра. В верхней части резьбовое соединение (конусное). Фильтрующий элемент состоит из каркаса, на который нанесен тонкий слой никеля НП-2 (никель полуфабричный содержит в себе небольшие добавки марганца, кремния, магния, углерода и других элементов с суммарным содержанием 1% массовых). Металлокерамические фильтры предназначены для отделения твердой и газовой фазы из реактора механическим способом. Фильтры обдуваются с одинаковым интервалом времени по 4 группам, в каждой группе по 5 фильтров. Отдуваются фильтры азотом избыточного давления не менее 600кПа. Время отдувки по 5-10 секунд. Цикл продувки металлокерамических фильтров: последовательно продуваются первая, вторая, третья и четвертая группы.

К днищу реактора крепится газораспределительная решетка, которая предназначена для равномерного распределения потока парогазовой смеси и поддержания «кипящего» слоя в реакторе. Газораспределительная решетка в сечении имеет форму прямоугольника. Структура газораспределительной решетки слоистая (состоит из множества переплетенных между собой волокон).

Сопло реактора состоит из трубки подачи гексафторида урана и трубки подачи пара в реактор. Пар подается в межтрубное пространство, ГФУ – в трубное. Сопло крепится к реакционной камере резьбовым соединением. Материал сопла НП-2 (в сплаве НП-2 содержание никеля и кобальта  $\geq 99,5\%$ ), трубка подвода пара к соплу выполнена из нержавеющей стали.

Режим работы реактора:

Основные технологические параметры реакторов конверсии приведенные в Приложении 1. Температурные режимы всех трёх зон:

- верхняя 450°C: для отдувки фильтров подается азот под давлением 6 бара

- средняя 625°C: подается ГФУ и водяной пар. Расход водяного пара зависит от расхода ГФУ в пропорции 5 к 1, но менее 14 м<sup>3</sup>/ч. Реакция пиролиза ГФУ начинается сразу при выходе из сопла ГФУ и пара:

- нижняя 625°C: под газораспределительную решетку подаются водяной пар, водород и азот с расходами 13,74 м<sup>3</sup>/ч, 6,87 м<sup>3</sup>/ч и 21,1 м<sup>3</sup>/ч соответственно.

Реактор работает под небольшим избыточным давлением 5 кПа относительно одной атмосферы.

#### Принцип работы реактора

ГФУ из баллона по линии поступает в реактор через сопло вместе с перегретым водяным паром. Сопло наклонено, поэтому струя газов движется в направлении псевдооживленного слоя. На границе фаз происходит реакция (1.1.1).

За счет избытка водяного пара обеспечивается преобразование всего ГФУ в твердый порошок уранилфторида. Если бы это не имело место, то ГФУ покидал бы реактор с технологическим газом и загрязнял бы радиоактивностью систему для обработки газообразных отходов.

Образующиеся частицы уранилфторида на границе раздела фаз восстанавливаются водородом, который поступает из под распределительной

решетки. Вместе с этим происходит обесфторирование, получившегося порошка диоксида урана (1.1.2).

Из-за небольшой плотности, высокой степени дисперсности частицы уранилфторида поднимаются вверх и оседают на металлокерамических фильтрах, а технологические газы удаляются из реакционной камеры через металлокерамические фильтры. Далее, на металлокерамические фильтры подается импульс азота при давлении 6МПа, т.е. происходит обратная продувка (реверсирование потока), в результате которого частицы уранилфторида отделяются от фильтра и осаждаются на слой порошка диоксида урана.

Масса псевдооживленного слоя определяется измерением дифференциального давления, которое показывает сопротивление создаваемого псевдооживленным слоем. При достижении сопротивления псевдооживленного слоя 6,7 кПа включаются: ротационный клапан и шнековый транспортёр расположенные под реакционной камерой. Через несколько секунд высота “кипящего” слоя уменьшается, и ротационный клапан выключается, а шнековый транспортёр продолжает работать [10].

Получившийся порошок диоксида урана выгружается из реактора при достижении определенного давления в «кипящем» слое 6,7 кПа. При этом включаются: ротационный клапан и шнековый транспортёр расположенные под реакционной камерой. Через несколько секунд высота “кипящего” слоя уменьшается, и ротационный клапан выключается, шнековый транспортёр продолжает работать.

### **2.2.3. Узел восстановления и обесфторирования**

В результате того, что получаемый в реакторе порошок диоксида урана содержит примеси уранилфторида – промежуточного продукта, а также адсорбировавшего фтороводорода на поверхность порошка (масса HF менее 1% по массе, а содержание фтора не должно превышать 0,005% по массе к урану), то порошок диоксида урана отправляется во вращающуюся

трубчатую печь АВВ (рис. 8). Производительность барабанной вращающейся печи 100000 тонн в год [10]. Печь условно поделена на три зоны в зависимости от температурного режима:

- 1-ая зона:  $700\pm 10^{\circ}\text{C}$
- 2-ая зона:  $735\pm 10^{\circ}\text{C}$
- 3-ья зона:  $725\pm 10^{\circ}\text{C}$

Число оборотов реторты  $3\pm 0,5$  об/мин. Давление в реакционной объеме реторты печи поддерживается 101 кПа. В печь противотоком подаются технологические газы: азот, водород, перегретый водяной пар с объемными расходами соответственно 2,15; 6,37; 6,24 м<sup>3</sup>/ч. Процесс накаливания приводит к образованию диоксида урана стехиометрического состава.

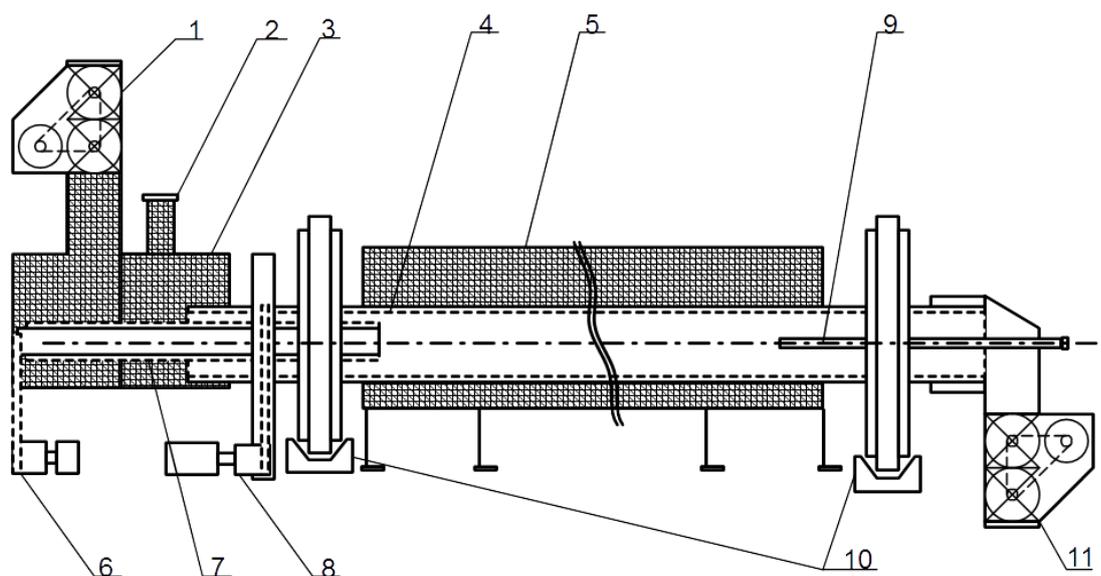


Рисунок 8 – Вращающаяся обжиговая печь большой длины с электрическим подогревом. 1 – приёмный бункер, 2 – вентиляция отходящий газов, 3 – обогреватель загрузочной стороны, 4 – реторта, 5 – топка с электрическим нагревом, 6 – привод транспортного шнека с электродвигателем, 7 —

транспортный шнек, 8 — привод барабана с электродвигателем, 9 — паровая трубка, 10 — опоры подвижной части, 11 — разгрузочный бункер

#### 2.2.4. Узел стабилизации

Далее, порошок диоксид урана поступает в стабилизаторы (охладители) (рис.9). Здесь порошок контролируемо окисляется путем добавления воздуха. При этом порошок охлаждается до температуры ниже  $100^{\circ}\text{C}$ . За счет подкисления вокруг частиц диоксида урана образуется слой закиси-оксида урана, который предотвращает дальнейшее окисление порошка диоксида урана. Поскольку мелкодисперсный порошок диоксида урана обладает пирофорным свойством, то такая обработка предотвращает возможность сгорания порошка.

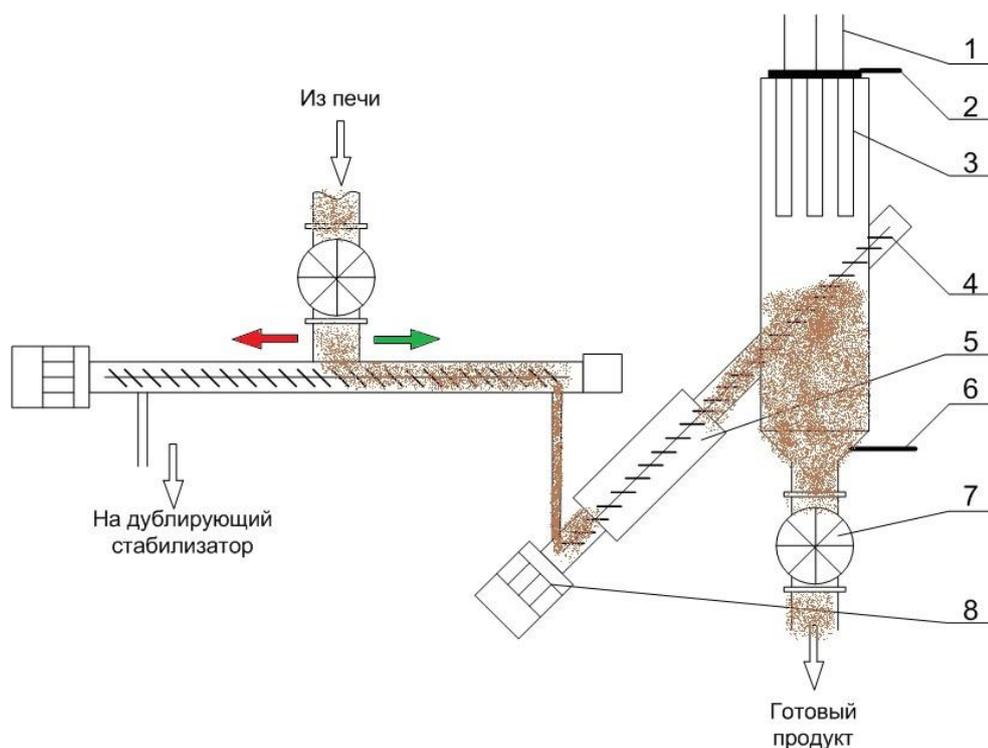


Рисунок 9 – Схематический чертёж стабилизатора. 1 – линии подачи азота, 2 – отходящие газы, 3 – керамические фильтры, 4 – транспортирующий шнек, 5 – охлаждающая рубашка 6 – линия подачи сжатого воздуха, 7 – ротационный клапан, 8 – механический привод

У стабилизаторов два режима работы: наполнение и стабилизация. Пока один стабилизатор находится в режиме стабилизации (окисления), дублирующий его – наполняется продуктом. Время стабилизации – минут. Подача порошка диоксида урана осуществляется транспортным шнеком. Изменяя направление вращения шнека, можно выбирать наполнение между двумя стабилизаторами. Делается это автоматически при срабатывании датчика, контролирующего уровень наполнения в стабилизаторах.

### **2.2.5. Узел конденсации HF**

Отходящие газы с реакционных камер и электропечи после дополнительных фильтров поступает в конденсаторы для отходящих газов. В них содержится по объему: 49% – азота, 27% – водяного пара и 24% – фтористого водорода. В конденсаторе происходит конденсация паров плавиковой кислоты (конденсирующие составляющие – кислота HF и водяной пар – 98% по массе). Получившаяся плавиковая кислота имеет концентрацию 40-45%. В качестве хладоносителя для охлаждения теплообменников подается аргус-хатдип. Температура хладоносителя колеблется от 0°C до 5°C. Из бочков сборников плавиковая кислота перекачивается в приемные емкости для плавиковой кислоты, после того как будут взяты пробы плавиковой кислоты на количественный анализ содержания урана.

Фтористоводородную кислоту упаковывают в транспортную тару – железнодорожные стальные гуммированные цистерны, предназначенные для транспортировки фтористоводородной кислоты либо в коррозионностойкие баллоны, бочки по согласованию потребителя. Хранение фтористоводородной кислоты осуществляется в заводской упаковке в крытых складских помещениях при температуре не выше 30°C. Транспортировку кислоты осуществляют всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующим на данном виде транспорта.

### **2.2.6. Узел дожигания водорода**

Отходящие газы, состоящие из азота и непрореагированного водорода, содержат также остатки паров паливиковой кислоты. Газоодувкой они подаются из конденсатора, через щелочный скруббер, охладитель газов в газовую горелку, откуда они поступают в техническую вентиляцию. В скруббере нейтрализуются остатки фтороводорода избытком раствора гидроксида калия. В газовую горелку предварительно подается водород для поддержания пламени.

### **2.3 Получение продукта**

Завершающим этапом в получении продукта является его контроль на влажность и наличие металлических предметов. На рисунке 10 представлена блок-схема завершающих этапов получения и контроля качества порошка.

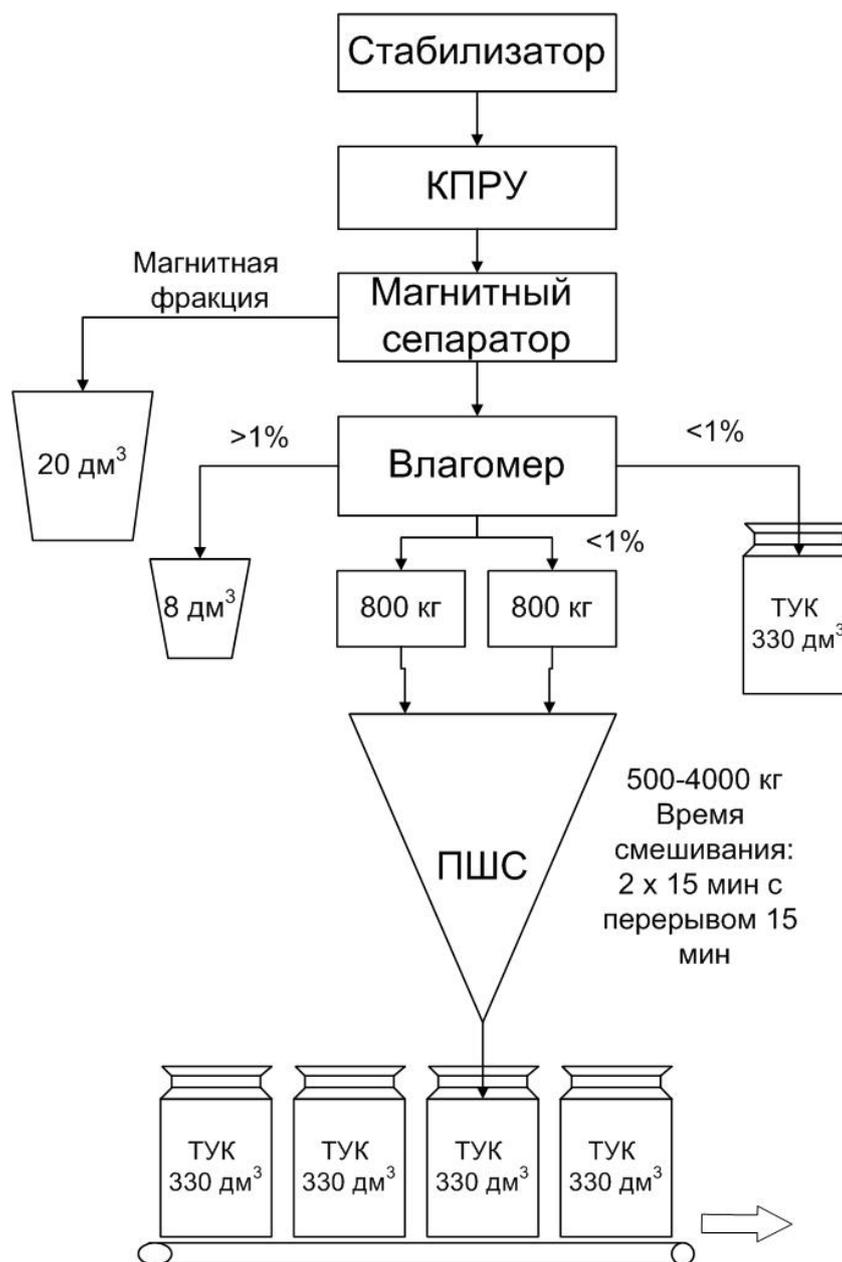


Рисунок 10 - Блок-схема завершающих этапов получения и контроля качества порошка

Для измельчения агломератов частиц порошок  $UO_2$  проходит через кольцевое помольное устройство (КПРУ) с размером ячейки сита 630 мкм [2].

Прошедший КПРУ порошок  $UO_2$  поступает на магнитный сепаратор. Отделённую магнитную фракцию упаковывают в тару вместимостью не более 20  $дм^3$  и направляют на переработку либо на склад.

Следующим этапом является контроль влажности. Осуществляется на установке «Влагомер». Порошок с влажностью более 1%, а также в случае

отклонения от заданных режимов в технологическом процессе, выгружается в безопасную тару – контейнер вместимостью 8 дм<sup>3</sup>. Из контейнера с диоксидом урана проводится отбор пробы на массовую долю влаги или другие параметры в зависимости от причины отсечения порошка UO<sub>2</sub>.

При несоответствии порошка UO<sub>2</sub> техническим требованиям по результатам анализа проб, продукции получает ярлык «несоответствующая продукция» с указанием вида несоответствия, и направляют её в изолятор до принятия решения о дальнейшей переработке.

При отсутствии отклонений от технических требований порошка UO<sub>2</sub> тару устанавливают в станцию подгрузки в приёмную ёмкость печи обесфторивания.

Порошок с влажностью не более 1% подаётся пневмотранспортом через ротационный клапан в приёмные ёмкости-накопители системы предварительной обработки порошка. Допускается выгрузка продукта UO<sub>2</sub> в контейнеры вместимостью 330 дм<sup>3</sup> либо в ТУК на станции комплектации «укрупнённой» партии порошка. Приёмные ёмкости-накопители разгружаются поочередно. Заполнение не более чем 800 кг. Контроль заполнения осуществляется датчиком уровня и тензовесами.

Выгрузка порошка UO<sub>2</sub> идёт в ПШС конической формы. Общая масса выгружаемого порошка должна быть от 500 до 4000 кг. Время смешивания два раза по 15 минут с перерывом по 15 минут (перерыв необходим для недопущения сгорания крупниц при нагревании трением во время процедуры усреднения). Режимы усреднения указаны в технологической инструкции [10].

Усреднённый порошок UO<sub>2</sub> через ротационный клапан выгружается из смесителя в пустые контейнеры вместимостью 330 дм<sup>3</sup>, либо в стальные бочки ТУК. Выгруженный порошок UO<sub>2</sub> комплектуется в партии:

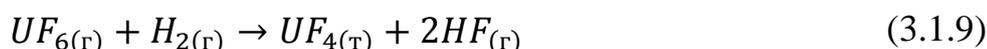
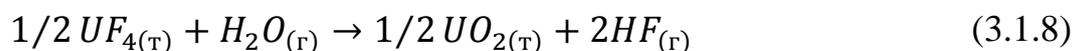
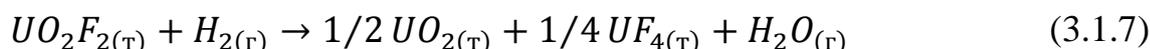
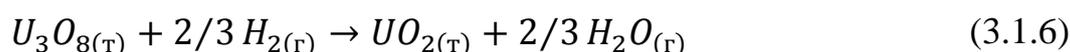
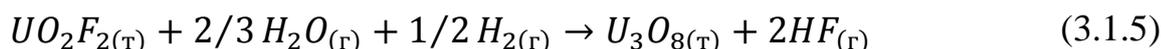
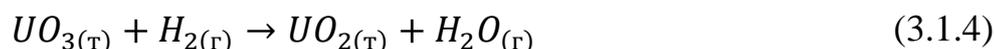
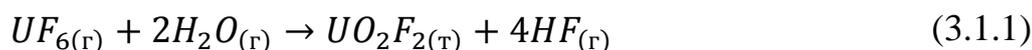
- для отправки за пределы предприятия;
- для внутривозовского использования.

### 3. ОПИСАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В РЕАКТОРЕ И ПЕЧИ

В результате проведения исследовательских работ сотрудниками на участке ВПГ было установлено, что ведение процессов пирогидролита осуществляется с большим перерасходом. Для того, чтобы определить наиболее оптимальные режимы работы аппаратов, необходимо было выявить параметры, непосредственно влияющие на качество получаемого продукта и работу аппаратов.

#### 3.1. Химизм пирогидролита

В технологической части магистерской диссертации была описана работа реакторов (п. 2.2.2) и печи (п. 2.2.3). В источниках литературы [] описывается возможность протекания механизма конверсии по следующим реакциям:



Реакция пирогидролита ГФУ с водяным паром (3.1.1) протекает практически мгновенно и является сильно экзотермической реакцией, приводящей к поднятию температуры дымного облака (мелкодисперсные частицы в объеме реактора) на несколько сотен градусов.

С целью уменьшения экзотермичности процесса добавляют азот, инертный газ, который служит для разбавления системы, т.е. снижает скорость взаимодействия, и, как следствие, не допускает повышения температуры в реакторе.

Образуемый уранилфторид, взаимодействуя с водяным паром, протекает по реакции (3.1.2), а при избытке водяного пара, способен к протеканию следующей химической реакции (3.1.3). В результате образуется мелкодисперсный порошок диоксида урана.

Условной температурой реакции пирогидролиза уранилфторида принято считать 400°C. При температуре свыше 600°C возможно образование закись-окись урана (3.1.5, 3.1.6).

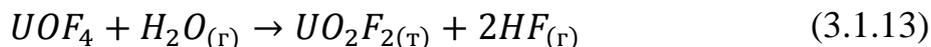
В процессе термического разложения уранилфторида было замечено образование в качестве промежуточного продукта соединение UF<sub>4</sub>:



Данное соединение термически неустойчиво и при температуре около 200°C разлагается по реакции:



Полученные продукты, находясь в реакторе, протекают по вышеперечисленным реакциям (3.1.1, 3.1.4). При взаимодействии с парами воды UOF<sub>4</sub> переходит в уранилфторид:



Простой стехеометрический расчёт показывает, что на реактор и печь водород подаётся в явном избытке.

Производительность участка составляет 450 тонн в год, т.е. 51,37 кг/ч – по UO<sub>2</sub>. Чтобы определить минимальное количество реагентов, был произведён простой стехеометрический расчёт для реакций (3.1.1, 3.1.2), результаты приведены в таблице.

Таблица 3.1.1 – Минимальные значения параметров.

Компонент	кг/ч	м <sup>3</sup> /ч
<i>входящие</i>		
UF <sub>6(г)</sub>	66,98	4,2
H <sub>2(г)</sub>	0,61	6,9
H <sub>2</sub> O <sub>(г)</sub>	6,85	8,5
<i>исходящие</i>		
UO <sub>2(т)</sub>	51,37	-
HF <sub>(г)</sub>	22,84	25,7

Сравнивая полученные значения с имеющимися на участке уставками было обнаружено, что водород и пар подаются в явном избытке: H<sub>2</sub> – 65%, H<sub>2</sub>O – 88 %; при этом расход ГФУ в реактор на 40% выше.

Полученные результаты гарантированы в идеальном случае, когда вещества вступают в полный контакт друг с другом. В реальных условиях существуют различные факторы, влияющие на скоротечность химических реакций, такие как:

- природа реагирующих веществ;
- концентрация исходных веществ;
- температура;
- давление;
- площадь поверхности соприкосновения частиц;
- наличие катализатора.

В ходе экспериментов снижали расходы подаваемых газов (водород и пар) на печь дообесфторивания.

- Снижение водорода до 40% (с 6,37м<sup>3</sup>/ч до 4м<sup>3</sup>/ч) отличий нет, при дальнейшем снижении рост содержания фтора в порошках. При изготовлении таблеток отличий не установлено.

- Снижение расхода пара до 40% (с 6,24 м<sup>3</sup>/ч до 4 м<sup>3</sup>/ч) отличий нет, при дальнейшем снижении наблюдается рост содержания фтора в порошках. При изготовлении таблеток отличий не установлено.
- При совместном снижении расхода водорода и пара на 2 м<sup>3</sup>/ч отмечено увеличение содержания фтора до предельных значений. По результатам разбраковки топливных таблеток, изготовленных из данных порошков, существенных отличий по качественным характеристикам таблеток не зафиксировано.
- При совместном снижении расхода водорода и пара на 2 м<sup>3</sup>/ч и увеличение расхода азота с 2,2 до 5,5 м<sup>3</sup>/ч (на 3,3 м<sup>3</sup>/ч) отмечено снижение содержания фтора. При изготовлении таблеток отличий не установлено.

### 3.2. Исследование кинетики процессов пирогидролиза в реакторе.

Реакции пирогидролиза гексафторида урана в DC – процессе протекают в газовой фазе. Кинетика процессов пирогидролиза отражена в работе [8]. На рисунке приведены модель реактора конверсии для участка ВПГ из этого же источника. Из рисунка 11 видно, что часть водорода улетучивается, проходя вдоль поверхности стенок, не вступая в реакцию.

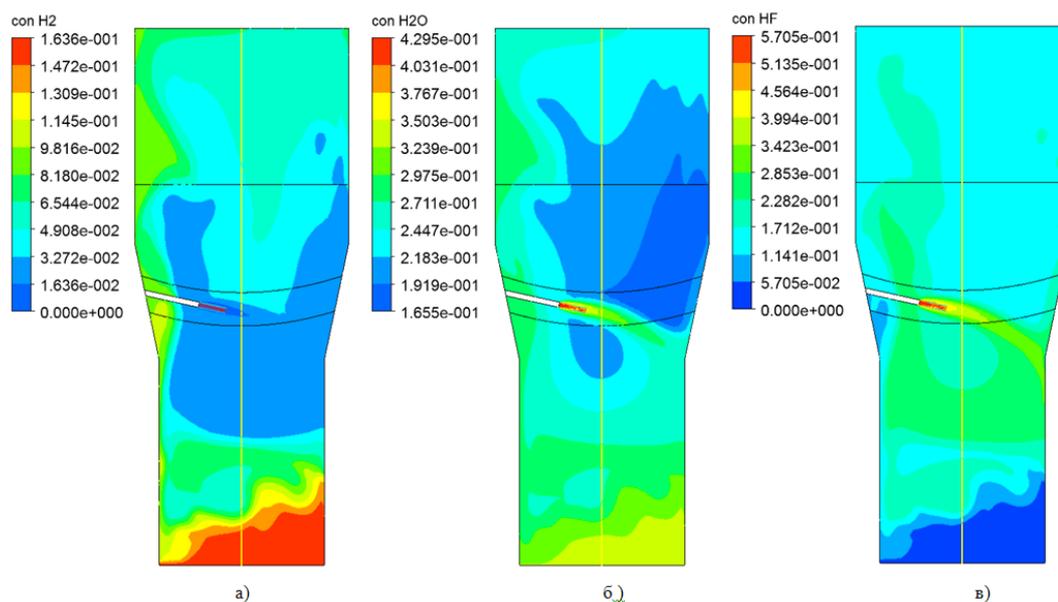


Рисунок 11 – Распределение концентраций: а) H<sub>2</sub>, б) H<sub>2</sub>O, в) HF в реакторе.

В реакторе происходит конверсия гексафторида урана в диоксид урана. Выгрузка продукта осуществляется при достижении определенного сопротивления (6,7 кПа) псевдооживленного слоя. Сопротивление псевдооживленного слоя находится по следующей формуле [9]:

$$\Delta P = \int_{M_3} \frac{a}{f_c} dM_3 \quad (3.2.1)$$

где  $a$  – это центробежное ускорение,

$f_c$  – это площадь сечения реактора,

$M_3$  - эффективная масса.

$$M_3 = M_T - M_G \quad (3.2.2)$$

$M_T$  - это масса твердых частиц,  $M_G$  - масса псевдооживляющего газа. Поскольку  $M_T \gg M_G$ , то массой газа можно пренебречь. В реакторе действует поле тяготения, поэтому центробежное ускорение, в данном случае, будет равняться ускорению свободного падения. Площадь сечения реактора на участке, где проводится псевдооживление, постоянная. Учитывая эти поправки, уравнение (3.2.1) принимает вид:

$$\Delta P = \frac{g}{f_c} \int_{M_3} dM_T \quad (3.2.3)$$

Из уравнения (3.2.2) следует, что сопротивление псевдооживленного слоя зависит от массы твердой фазы, т.е. от массы порошка диоксида урана. Масса есть произведение плотности на объем, следовательно уравнение (3.2.3) можно преобразовать:

$$\Delta P = \frac{g}{f_c} \int_V \rho_T dV \quad (3.2.4)$$

Объем тела рассчитывается как площадь умноженное на высоту. Площадь сечения реактора есть величина постоянная, то изменение объема зависит только от изменения высоты ( $h$ ) кипящего слоя.

$$\Delta P = \frac{g}{f_c} \int_{M_3} dM_T = g \rho_T \int_h dh \quad (3.2.5)$$

Отсюда, следует, что сопротивление псевдооживленного слоя зависит от массы порошка диоксида урана, которая, в свою очередь, зависит от

высоты кипящего слоя. В ходе реакции пирогидролита ГФУ в «кипящем» слое образуется новый порошок диоксида урана до давления 6,7 кПа.

Следовательно,  $dM$  – зависит от скорости протекания процесса пирогидролита: чем быстрее будет образовываться частицы диоксида урана, тем быстрее будет происходить выгрузка из реактора. Процесс пирогидролита ГФУ является быстротекущим процессом, определить время, за которое образовывается диоксид урана не представляется возможным. На скорость процесса, в этом случае, будет влиять расход ГФУ в реактор.

Исходя из выше перечисленного следует, что на массу порошка диоксида урана влияют два параметра:

- давление псевдооживленного слоя;
- расход ГФУ.

Давление псевдооживленного слоя рассчитывается по формуле (3.2.3). Проинтегрировав это уравнение можно получить следующее:

$$\Delta P = \int_{M_0} \frac{g}{f_c} dM_0 = \frac{gM_T}{f_c} \quad (3.2.1)$$

Как отмечалось ранее,  $g$  и  $f_c$  – это постоянные величины. Давление псевдооживленного слоя зависит от образующейся массы в ходе реакции пирогидролита. Изменяя величину давления можно увеличить время пребывания продукта реакции, потому что необходимая для выгрузки продукта будет увеличиваться.

Таким образом, изменение расхода ГФУ в камеру реактора неизбежно приведет к изменению ряда параметров: изменению аэродинамического течения газов, изменению среднего времени витания частиц порошка в кипящем слое (по мере увеличения расхода при постоянном значении кипящего слоя время витания частиц будет снижаться), изменению соотношений газовых компонентов реакции пирогидролита.

В ходе эксперимента менялось значение псевдооживленного слоя от 5,0 – 7,0 кПа, расход ГФУ составлял 3,6 м<sup>3</sup>/ч. Увеличение высоты слоя до значения 7,5 кПа привело к забивке фильтровальной зоны реактора.

Таблица 3.2.1 – Результаты эксперимента

Р	полная удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	фракционный состав, %	Текучесть, с	насыпной вес без утряски, г/см <sup>3</sup>	насыпной вес с утряской, г/см <sup>3</sup>	плотность спеченных таблеток
5	1,69	29,6	5,1	1,53	1,78	10,648
6	2,24	63,39	5,5	1,51	1,78	10,613
6,5	2,49	56,22	6	1,62	1,93	10,747
7	2,14	75,85	6,9	1,75	2,13	10,499

Графическая интерпретация полученных результатов



Рисунок 12 – График зависимости полной удельной поверхности от давления псевдооживленного слоя

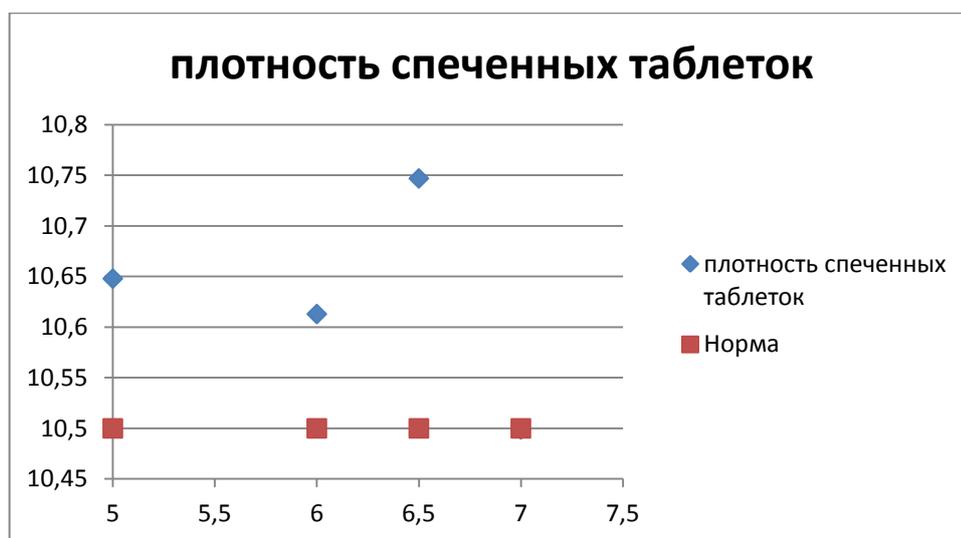


Рисунок 13 – График зависимости плотности спечённых таблеток от давления псевдооживленного слоя

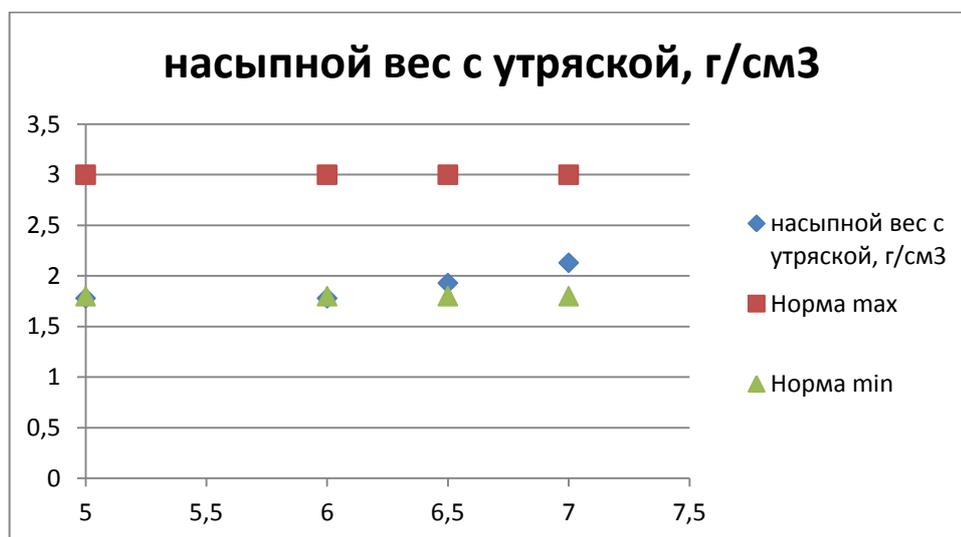


Рисунок 14 – График зависимости насыпного веса с утряской от давления псевдооживленного слоя

Выводы:

- с увеличением давления псевдооживленного слоя, т.е. высоты псевдооживленного слоя, увеличиваются значения технологических свойств порошка диоксида урана: текучесть, насыпная плотность без утряски и с утряской, фракционный состав (концентрация частиц диаметром менее 0,071мм)

- было замечено уменьшение полной удельной поверхности, что, видимо, повлияло на плотность спеченных таблеток.
- увеличение высоты псевдооживленного слоя может негативно повлиять на забивание металлокерамических фильтров.

Исходя из уравнения реакции, увеличение расхода ГФУ (и пропорционального увеличения расхода водяного пара) приводит к увеличению образования массы порошка диоксида урана. Это означает, что диоксид урана начнет быстрее образовываться, следовательно, быстрее выгружаться из реактора, т.е. приводит к тому, что давление псевдооживленного слоя, при котором начинается разгрузка продукта из реактора, будет достигаться быстрее. Следовательно, целью данного эксперимента является определение, каким образом изменяются технологические свойства порошка диоксида урана в зависимости от расхода гексафторида урана.

В ходе эксперимента менялся расход ГФУ в диапазоне от 3,0 до 3,6 м<sup>3</sup>/ч, величина давления псевдооживленного слоя ( $P_{ic}$ ) оставалась неизменной, 6кПа.

Таблица 3.2.2 – Результаты эксперимента

расход ГФУ	Насыпной вес без утряски, г/см <sup>3</sup>	Насыпной вес с утряской, г/см <sup>3</sup>	Текучесть, с	Полная удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	плотность спеченных таблеток, г/см <sup>3</sup>	Фракционный Состав, % менее 71 мкм
3,00	1,49	1,86	11,00	2,86	10,52	7,96
3,30	1,59	1,96	11,00	2,84	10,51	6,74
3,40	1,59	1,98	7,20	2,91	10,53	7,62
3,50	1,59	1,99	8,80	2,71	10,56	7,64
3,60	1,62	1,93	6,00	2,49	10,55	7,13

Графическая интерпретация полученных результатов

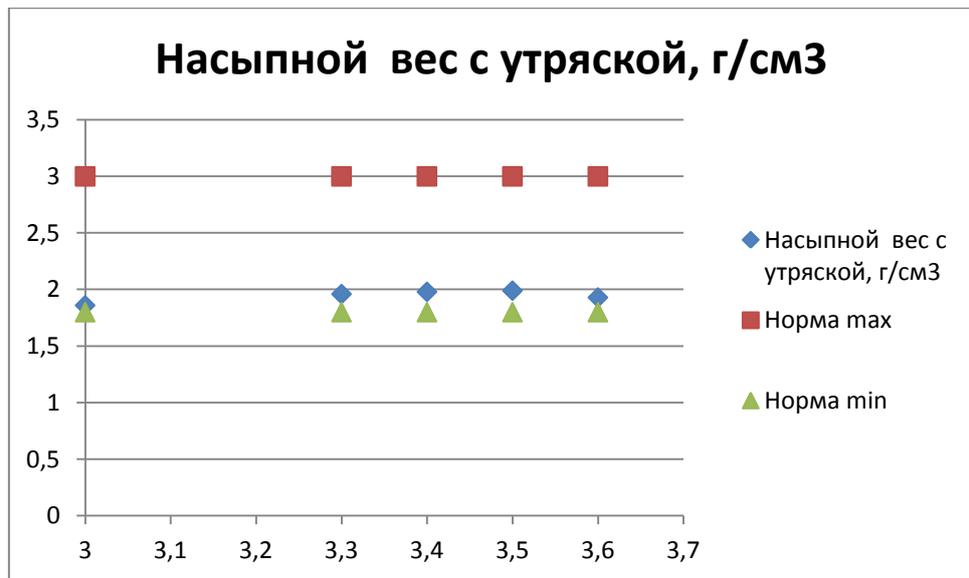


Рисунок 15 – График зависимости насыпного веса с утряской от расхода ГФУ

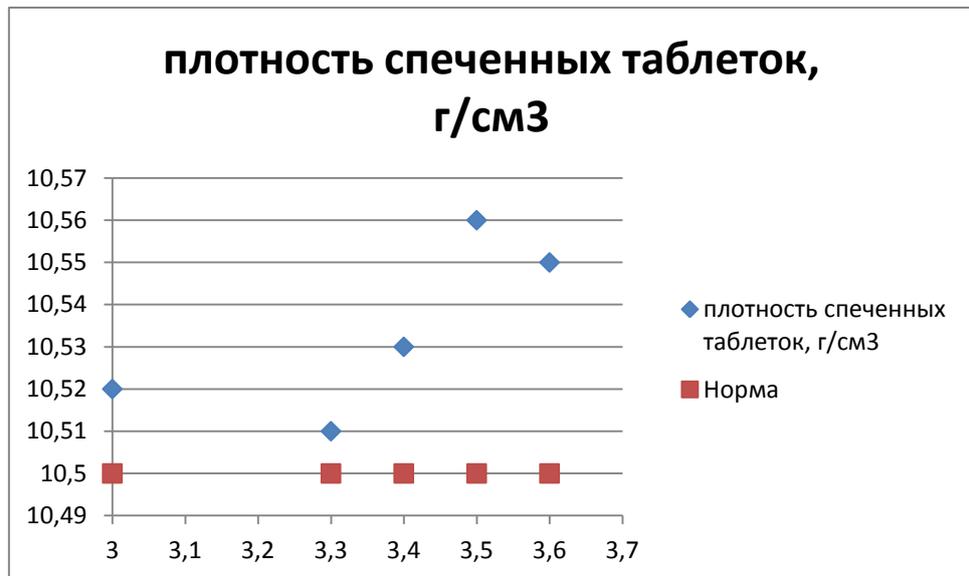


Рисунок 16 – График зависимости плотности спечённых таблеток от расхода ГФУ



Рисунок 17 – График зависимости полной удельной поверхности от расхода ГФУ

Зависимость изменения плотности спечённых таблеток, а также удовлетворивших все предъявляемые требования [11], изготовленных из порошков разных партий, изображена на рисунке 12.

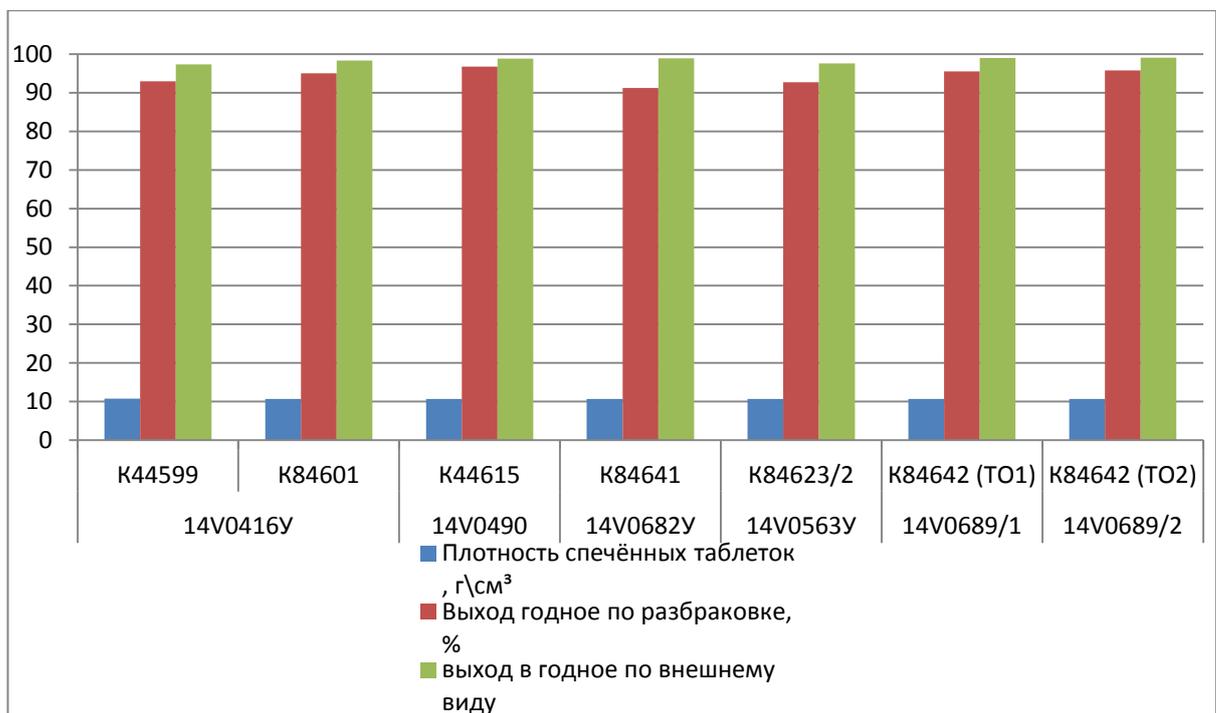


Рисунок 18 – Оценочная диаграмма годной продукции для каждой партии

#### Выводы:

- с увеличением расхода ГФУ было замечено увеличение насыпной плотности порошка диоксида урана без утряски и с утряской.
- плотность спеченных таблеток увеличивалась с увеличением расхода ГФУ.
- с увеличением расхода ГФУ уменьшаются значения следующих технологических свойств порошка диоксида урана: текучесть, фракционный состав, полная удельная поверхность.

#### **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Порошок диоксида урана, производимый на участке ВПП, поставляется на участок по производству топливных таблеток, используемых для реакторов типа ВВЭР.

Целью данной диссертационной работы является оптимизация расходов газов на участке ВПП, а именно: изменение режимов подачи газов в реактора конверсии и печи для получения продукта того же качества, но с меньшими затратами; определение себестоимости технологического процесса изготовления порошка диоксида урана для производства ядерного керамического топлива с обогащением до 5% (по U-235).

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данном разделе приведен расчет прямых затрат на производство керамического ядерного топлива по данным на 2017 год, а именно затрат на вспомогательные материалы, энергоресурсы и заработную плату.

## 4.1. SWOT-анализ

Таблица 4.1.1. SWOT-анализ

<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность снижения себестоимости порошка диоксида урана</p> <p>В2. Возможность и поддержка развития производственной системы «Росатом», как способ эффективного принятия предложений со стороны работников по улучшению производства.</p>	<p>«Сильные стороны и возможности»:</p> <p>Появление дополнительного спроса на продукцию со стороны других предприятий, обеспеченных актуальностью тематики</p> <p>Снижение нагрузки на элементы оборудования и как следствие – его износа.</p>	<p>«Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Наличие дополнительного спроса позволит устранить некоторые финансовые недостатки</p> <p>Поддержка развития ядерных технологий со стороны государства</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность ухудшения качества порошка</p> <p>У2. Вероятность ухудшения работы производственного оборудования в следствие изменения режимов работы от изначально установленных</p>	<p>«Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>Появление необходимости изменения режимов обработки продукции на её последующих этапах.</p>	<p>«Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>Эксплуатация определённых элементов участка на неполную мощность</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества предлагаемой установки преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

## 4.2. Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 4.2.1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер
	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер

	8	Анализ и обработка полученных результатов	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
	10	Определение целесообразности внедрения технологии	Инженер

#### 4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2.1.1)$$

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

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так

как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 15 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2.1.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

#### 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.2.2.1)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.2.2.2)$$

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

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 72 - 0} = 1,246$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.2.1.

Таблица 4.2.2.1 Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\min}$ , чел-дни	$t_{\max}$ , чел-дни	$t_{\text{ож}}i$ , чел-дни			
1	4	8	5,6	Руководитель	5,6	7
2	10	20	14	Руководитель, инженер	7	9
3	5	10	7	Руководитель	7	9
4	5	10	7	Инженер	7	9
5	4	6	4,8	Руководитель, инженер	2,4	3
6	15	25	19	Руководитель, инженер	9,5	12
7	7	11	8,6	Инженер	8,6	11
8	15	20	17	Руководитель, инженер	8,5	11
9	8	14	10,4	Инженер	10,4	13
10	4	6	4,8	Инженер	4,8	6
Итого:			100,2		70,8	88

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Работы на графике выделены различным цветом (штриховкой) в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план – график в виде диаграммы Ганта приведен в таблице 4.2.2.2

Таблица 4.2.2.2 Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				февраль	март			апрель			май			
				22-28	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	7											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер	9											
3	Выбор направления исследований	Руководитель	9											
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер	9											
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер	3											
6	Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель, инженер	12											
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер	11											
8	Анализ и обработка полученных результатов	Руководитель, инженер	11											
9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	13											
10	Определение целесообразности внедрения технологии	Инженер	6											

	– Совместная работа		– Инженер		– Руководитель
--	---------------------	--	-----------	--	----------------

## 4.3 Организация труда и заработной платы

### 4.3.1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней, подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от режима работы и продолжительности работы участка и продолжительности рабочего дня. В сутки участок работает в 4 смены продолжительностью по 6 часов каждая. Работа производится пятью производственными бригадами.

График сменности показан в таблице 4.3.1.1

Таблица 4.3.1.1. График сменности

Смена	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
А	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>
Б	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1
В	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2
Г	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3
Д	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4

Продолжение таблицы 4.3.1.1

Смена	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
А	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1
Б	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2
В	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3
Г	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4
Д	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>	4	3	2	1	<b>в</b>

где «в» – выходной;

1 – смена (с 0<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup>);

2 – смена (с 6<sup>00</sup> до 12<sup>00</sup>);

3 – смена (с 12<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup>);

4 – смена (с 18<sup>00</sup> до 24<sup>00</sup>).

Длительность сменоборота:

$$T_{\text{см.о.}} = n_{\text{б}} \cdot T_{\text{н}}; \quad (4.3.1.1)$$

где  $n_{\text{б}}$  – число бригад,

$T_{\text{н}}$  – количество дней, в которые бригада ходит в смену.

$$T_{\text{см.о.}} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ дней}$$

За 15 дней – за длительность сменоборота – бригада отдыхает 6 дней.

По данному графику сменности на одного среднесуточного рабочего приходится 72 выходных дня. Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего показан в таблице 4.3.1.2.

Таблица 4.3.1.2. Баланс рабочего времени

	Элементы рабочего времени	Время
1.	Календарное число дней	365
2.	Количество нерабочих дней	72
	- выходные дни	-
	- праздничные дни	-
3.	Потери рабочего времени, дней	49
	- очередные и дополнительные отпуска	7
	- по болезни	5
	- по разрешению администрации	-
	- прогулы	-
	Итого невыходов, дней	61
4.	Явочный фонд, дней	232
5.	Установленная средняя продолжительность рабочего дня, часов	6
	- внутрисменные простои	-
	- сверхурочная работа	-
	- перерывы	0,75
6.	Фактическая продолжительность рабочего дня, часов	5,25
7.	Эффективный годовой фонд рабочего времени, часов	1218

#### 4.3.2 Расчет численности рабочих, служащих, ИТР и МОП

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.

Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{\text{яв}} = \frac{1}{H_{\text{ОБС}}} \cdot F \cdot C; \quad (4.3.2.1)$$

где  $H_{\text{ОБС}}$  – норма обслуживания (число рабочих необходимо для обслуживания аппаратов в течение смены);

$F$  – количество установок;

$C$  – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также, учитывая уровень автоматизации оборудования, цеха:

$$R_{\text{яв}} = \frac{1}{4} * 3 * 4 = 3 \text{ чел}$$

Определим списочное число основных рабочих:

$$R_{\text{сп}} = R_{\text{яв}} \frac{T_{\text{эф.обор}}}{T_{\text{эф.раб}}}; \quad (4.3.2.2)$$

где  $T_{\text{эф.обор}}$  – проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{\text{эф.раб}}$  – проектируемое число дней работы в год одного рабочего.

$$R_{\text{сп}} = 3 * \frac{365}{232} = 4 \text{ чел}$$

Состав смены показан в таблице 1.3.2.1.

Таблица 4.3.2.1. Состав смены

	Должность	Категория	Количество, чел.
1.	Мастер смены	ИТР	1
2.	Аппаратчик гидролиза	основной рабочий	3
3.	Итого		4

### 4.3.3. Расчет годового фонда заработной платы

Расчет заработной платы основных рабочих выполнен исходя из тарифных ставок, окладов и доплат за работу в особых условиях на 2018 г.

1) расчет тарифного фонда заработной платы:

Тарифная ставка для рабочего 5-го разряда 17,45 рублей, для мастера смены 25,78 рублей.

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф}}, \quad (4.3.3.1)$$

где  $T_{\text{ст}}$  – тарифная ставка, руб./час;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный годовой фонд рабочего времени, часов.

$$Z_{\text{тар}}^5 = 17,45 \cdot 1218 = 21271 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{тар}}^M = 22,75 \cdot 1218 = 27700 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{тар}}^5$  – тарифная ставка для рабочего 5-го разряда,

$Z_{\text{тар}}^M$  – тарифная ставка для мастера.

2) доплата за вредность:

Доплата за работу в спецусловиях составляет 1500 руб/месяц. Так как рабочий с вычетом выходных и неявок на работу по планируемыми причинам работает  $232/24=9,7$  месяцев, то доплата за год равна:

$$D_{\text{вр}} = 1500 \cdot 9,7 = 14550 \text{ руб.}; \quad (4.3.3.2)$$

3) доплата за 1 час работы в ночное время составляет 40% часовой тарифной ставки:

$$t_{\text{нев}} = T_{\text{см}} \cdot 0,4, \quad (4.3.3.3)$$

$$t_{\text{нев}}^5 = T_{\text{см}}^5 \cdot 0,4 = 17,45 \cdot 0,4 = 6,98 \text{ руб / час},$$

$$t_{\text{нев}}^M = T_{\text{см}}^M \cdot 0,4 = 25,78 \cdot 0,4 = 10,3 \text{ руб / час},$$

$$D_{\text{нев}} = T_{\text{нев}} \cdot t_{\text{нев}}, \quad (4.3.3.4)$$

где  $T_{\text{нев}}$  – время ночной работы (72 дня или  $72 \cdot 6=432$  часов).

$$D_{\text{нев}}^5 = 432 \cdot 6,98 = 3015 \text{ руб.},$$

$$D_{\text{нев}}^M = 432 \cdot 10,3 = 4450 \text{ руб.},$$

4) доплата за 1 час работы в вечернее время составляет 20% часовой тарифной ставки:

$$t_{\text{вв}} = T_{\text{см}} \cdot 0,2, \quad (4.3.3.5)$$

$$t_{\text{вв}}^5 = T_{\text{см}}^5 \cdot 0,2 = 17,45 \cdot 0,2 = 3,49 \text{ руб / час},$$

$$t_{\text{вв}}^M = T_{\text{см}}^M \cdot 0,2 = 25,78 \cdot 0,2 = 5,16 \text{ руб / час},$$

$$D_{\text{вв}} = T_{\text{вв}} \cdot t_{\text{вв}}, \quad (4.3.3.6)$$

где  $T_{\text{вв}}$  – время вечерней работы (72 дня или  $72 \cdot 6=432$  часов).

$$D_{\text{вв}}^5 = 432 \cdot 3,49 = 1508 \text{ руб.},$$

$$D_{\text{вв}}^M = 432 \cdot 5,16 = 2225 \text{ руб.},$$

5) доплата за работу в праздничные дни:

$$D_{\text{нр}} = T_{\text{нр}} \cdot T_{\text{ст}}, \quad (4.3.3.7)$$

где  $T_{\text{нр}}$  – количество праздничных часов отработанных за год

$$T_{\text{нр}} = N_{\text{нр}} \cdot T_{\text{смены}} = 14 \cdot 6 = 84 \text{ часа}, \quad (4.3.3.8)$$

$N_{\text{нр}}$  – количество праздников в году.

$$D_{\text{нр}}^5 = T_{\text{нр}} \cdot T_{\text{ст}}^5 = 84 \cdot 17,45 = 1466 \text{ руб.},$$

$$D_{\text{нр}}^M = T_{\text{нр}} \cdot T_{\text{ст}}^M = 84 \cdot 25,78 = 2166 \text{ руб.},$$

7) премиальные:

$$D_{\text{прем}} = 0,15 \cdot (Z_{\text{мар}} + D_{\text{вр}} + D_{\text{нв}} + D_{\text{вв}} + D_{\text{нр}}), \quad (4.3.3.9)$$

$$\begin{aligned} D_{\text{прем}}^5 &= 0,15 \cdot (Z_{\text{мар}}^5 + D_{\text{вр}}^5 + D_{\text{нв}}^5 + D_{\text{вв}}^5 + D_{\text{нр}}^5) = \\ &= 0,15 \cdot (27271 + 14550 + 3015 + 1508 + 1466) = 7171 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{прем}}^M &= 0,15 \cdot (Z_{\text{мар}}^M + D_{\text{вр}}^M + D_{\text{нв}}^M + D_{\text{вв}}^M + D_{\text{нр}}^M) = \\ &= 0,15 \cdot (31400 + 14550 + 4450 + 2225 + 2166) = 8219 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

8) основная заработная плата:

$$Z_{\text{осн}} = (Z_{\text{мар}} + D_{\text{прем}} + D_{\text{вр}} + D_{\text{нв}} + D_{\text{вв}} + D_{\text{нр}}) \cdot R_{\text{сн}} \cdot C \cdot N, \quad (4.3.3.10)$$

где  $N$  – количество месяцев.

$$Z_{\text{осн}}^5 = (27271 + 7271 + 14550 + 3015 + 1508 + 1466) \cdot 3 \cdot 4 \cdot 12 = 7917264 \text{ руб.},$$

где  $R_{\text{сн}}^5$  – списочное число рабочих пятого разряда в смену.

$$Z_{\text{осн}}^M = (31400 + 8219 + 14550 + 4450 + 2225 + 2166) \cdot 1 \cdot 4 \cdot 15 = 3024480 \text{ руб.},$$

где  $R_{\text{сн}}^M$  – списочное число рабочих ИТР в смену.

$$Z_{\text{осн}} = 7917264 + 3024480 = 10941744 \text{ руб.}$$

9) дополнительная заработная плата:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{T_{\text{н}} \cdot Z_{\text{осн}}}{T_{\text{эф}}}, \quad (4.3.3.11)$$

$$Z_{\text{доп}} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{эф}}} Z_{\text{осн}} = 2876924 \text{ руб.}$$

где  $T_{\text{н}}$  – количество дней неявок на работу по планируемыми причинам.

10) С учетом районного коэффициента (1,25 для Новосибирска) фонд годовой ЗП составит:

$$З = 1,25 \cdot (З_{осн} + З_{дон}), \quad (4.3.3.12)$$

$$З = 1,25 \cdot (10941744 + 2876924) = 21955500 \text{ руб.}$$

#### 4.4. Расчёт амортизации основных производственных фондов

Норма амортизации:

$$H_a = \frac{100}{T_{сл}}, \quad (4.4.1)$$

где  $T_{сл}$  – срок службы, лет.

Амортизационные отчисления:

$$AO = \frac{H_a \cdot Q}{100} \cdot n, \quad (4.4.2)$$

где  $Q$  – стоимость элемента основного фонда, руб;

$n$  – количество элементов.

Приравнивая формулы (7.4.1.) и (7.4.2) получаем, что амортизационные отчисления определяются как:

$$AO = \frac{n \cdot Q}{T_{сл}}, \quad (4.4.3)$$

В таблице 4.4.1. приведён список основных производственных фондов для участка ВПГ.

Таблица 4.4.1. Амортизация основных производственных фондов

№ пп	Наименование	Кол-во, шт.	Стоимость тыс. руб.	Срок службы	Амор-я за год, тыс. руб.
1	Установка термостатирования	2	13831	30	922,047
2	Весовой модуль “Flexmount”, дискретность – 2 кг	2	1100,56	12	170,132
3	Весовой модуль от 0 до 1000 кг	1	1216,243	9	135,1381
4	Установка производства пара	2	1000	20	100
5	Установка производства очищенной деионизованной воды	1	4273,93	9	474,880

6	Камера реакционная	2	29839,67	50	1189,621
7	Электрическая нагревательная вращающаяся печь	1	52711,11	15	3514,074
8	Охладитель стабилизатор	2	1685,35	30	112,36
9	Бункер с установкой контроля влажности «Влагомер»	1	-		-
10	Смеситель конический	1	15681,346	120	127,927
11	Кольцевое помольное устройство	1	652,26	2	320,162
12	Сепаратор магнитный	1	1036,911	12	79,79
13	Ёмкость V=4 м <sup>3</sup> для хранения фтористоводородной кислоты	2	464,889	50	18,595
14	Конденсатор для отходящих газов	3	3372,112	25	397,211
15	Бак сборник V=80 л для фтористоводородной кислоты (полиэтилен)	2	397,08	50	15,883
16	2-х ступенчатый щёлочной скруббер V=500 л	1	2358,02	7	336,860
17	Водоохлаждающая установка на компрессорах “Back” HG	2	10844,44	75	294,091
18	Прочие (рабочие линии, инструменты, клапаны и т.п.)	-	-	-	2500
	<i>Итого</i>				10889,77

#### 4.5. Калькуляция себестоимости

Для того, чтобы рассчитать себестоимость продукции необходимо определить все затраты, которые имеют место в процессе производства. Предприятие будет тратить денежные средства на приобретение материалов и комплектующих, оплату израсходованной электроэнергии, а также нести дополнительные затраты, связанные с организацией и осуществлением деятельности предприятия.

Нормы расходов на 1 кг урана общего в готовой продукции представлены в таблице 4.5.1.

Таблица 4.5.1. Ведомость норм расхода вспомогательных материалов на 1 кг урана общего в готовой продукции.

№ пп	Наименование материала	Нормативно-технический документ	Ед. изм.	Норма расхода на 1 кг урана
	<i>Вспомогательные материалы:</i>			
1	Азот газообразный	ГОСТ 9293-74	м <sup>3</sup>	1,500
2	Водород технический марки Б	ГОСТ 3022-80	м <sup>3</sup>	0,450
	<i>Энергоресурсы:</i>			
3	Электроэнергия		кВт ч	5,9
4	Сжатый воздух	ГОСТ 17433-80	м <sup>3</sup>	1,5
5	Вода питьевая	ГОСТ Р 51232-98	м <sup>3</sup>	0,0084

Стоимость 1 м<sup>3</sup> расходного материала за 2017 год представлена в таблице 4.5.2.

Таблица 4.5.2. Фиксированная тарифная плата по энергоресурсам за 2017 год.

№ пп	Краткий текст вида раб.	ФиксТариф, руб.	План/факт
1	ЭлЭн собст. произв.	3,98 3,85	п ф
2	Произв. сжат. воздуха	2,58 3,51	п ф
3	Произв. водорода	63,72 68,81	п ф
4	Газообразный азот	20,05 17,04	п ф
5	Вода питьев. собПр	22,09 27,83	п ф

Производительность участка 450000 кг. В таблице 4.5.3 приведена цеховая себестоимость 1 кг урана в готовой продукции за 2017 год.

Таблица 4.5.3. Цеховая себестоимость порошка за 1 кг урана.

№ пп	Критерий	Руб.
1	Вспомогательные материалы	5,48
2	Возвратные обороты	-7,51
3	Энергозатраты	86,40
4	Зарплата	48,79
5	Начисления	16,84
6	Услуги собственников	43,36
7	Услуги сторонних лиц	67,58
8	Амортизация	94,92
9	Прочие	37,07
10	Спецоснастка	0,90
11	Общепроизводственные расходы	89,11
Итого		482,82

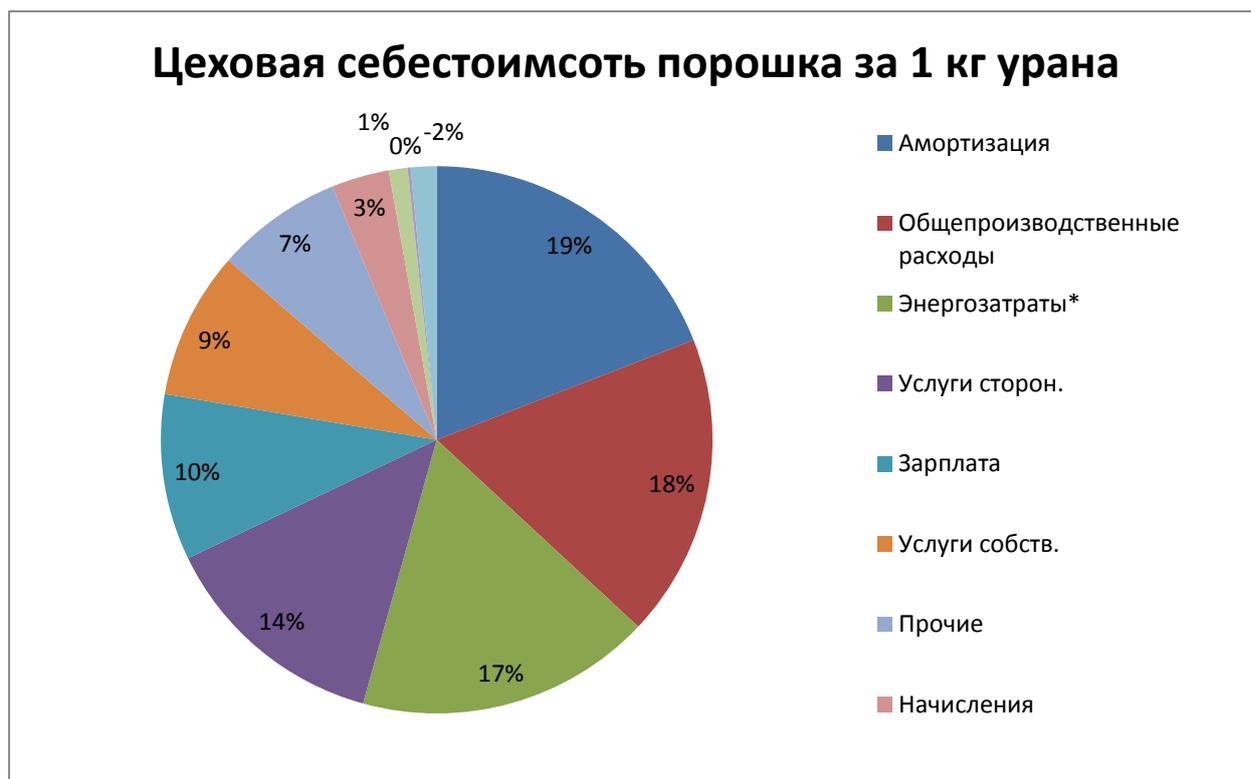


Рисунок 19 Диаграмма распределения затрат на получение порошка за 1 кг урана общего.

#### 4.6. Расчёт научно-технического эффекта

По результатам исследований, были предложены 3 режима работы участка, в основном ориентированных на снижение энергозатрат:

- P0 – штатный режим работы;
- P1 – снижен водород на 40%;
- P2 – снижен пар на 40%;
- P3 – совместно снижен пар и водород на 40% и увеличен азот на 150%.

В таблице 4.6.1 приведены результаты расчётов себестоимости за 1 кг урана общего в готовой продукции для разных режимах работы участка.

Таблица 4.6.1. Сравнительная таблица для разных режимов работы участка

	Энергозатраты, руб.	Себестоимость за 1 кг U, руб.	Разница себ/ст за 1 кг, руб.	Сумма за 1 год, тыс. руб.	Доля, %
<b>P0</b>	86,40	482,82	0	-	100
<b>P1</b>	74,82	471,35	-11,47	5161,3	97,62
<b>P2</b>	86,21	482,74	-0,07	33,4	99,98
<b>P3</b>	119,86	516,39	33,59	-15105,9	106,95

## Выводы

В данном разделе была рассчитана себестоимость 1 кг урана общего в готовой продукции как для штатных показателей, так и для новых режимов работы участка. Исходя из расчётов, было выявлено, что наиболее оптимальным решением является снижение расхода поступающего водорода. Данное решение позволяет сэкономить более 5 млн. рублей в год. Другие же режимы не показали себя как экономически эффективными. Проблемой установки нового режима работы участка является то, что печь будет работать не в полную мощность. Ограничением производительности участка являются реакторы, которые не способны эффективно работать при более высоком поступлении гексафторида урана. Радикальным решением является замена реакторов конверсии либо их модернизация, что позволит работать им на больших мощностях, что в свою очередь способно реализовать весь потенциал печи.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Одним из важнейших направлений профилактических мер по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

В основе Законодательства Российской Федерации об охране труда лежит Конституция Российской Федерации и Трудовой кодекс Российской Федерации.

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации возлагаются на работодателя. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.)

Выпускная квалификационная работа происходила на участке восстановительного пирогидролита (ВПГ) ПАО «НЗХК». Основным родом деятельности данного предприятия является производство ядерного топлива для АЭС. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведен ряд работ, который связан с производством порошка диоксида урана.

### **5.1. Общая характеристика производства**

На ПАО «НЗХК» была разработана и внедрена политика в области охраны здоровья и безопасности труда (ОЗиБТ), которая основывается на следующих принципах:

- соблюдения требований Российского законодательства в области охраны здоровья и безопасности труда, международных соглашений, стандартов и других требований, принятых на предприятиях;
- применение на действующих и вновь вводимых производственных технологий, способов и методов охраны здоровья и безопасности труда, обеспечивающих достижение и поддержание безопасности труда на лучшем мировом уровне;

- приоритета предупреждения опасных воздействий на человека, предотвращения травм и ухудшение состояния здоровья;
- решение задач обеспечения ОЗиБТ на основе системного анализа рисков;
- постоянной готовности к предотвращению и эффективной ликвидации последствий происшествий, инцидентов, аварий и чрезвычайных ситуаций;
- открытости и доступности информации по ОЗиБТ, конструктивном взаимодействии со всеми заинтересованными сторонами;

### **5.1.1. Анализ опасных и вредных факторов**

На участке восстановительного ВПГ существует риск нанесение вреда здоровья работника в связи с опасными и вредными производственными факторами.

#### *Опасные производственные факторы:*

- радиационное воздействие при возможном возникновении СЦР или при работе на оборудовании, загрязненным ураном;
- возможность получение химического отравления и химического ожога глаз и тела при работе с агрессивными веществами;
- поражение электрическим током при всех процессах, в котором используется электрическая энергия;
- возможность возгорания и взрыва водорода в смеси с воздухом;
- подскользывания и падения при передвижении по влажным, скользким или загроможденным полам, по пути на работу или с работы;
- падение с высоты, падение предметов с высоты, травмы от перенапряжения опорно-двигательного аппарата и ошибок при выполнении работ на высоте;
- порезы, колотые раны, ушибы вследствие контакта с острыми краями металлических предметов и пластмасс;

- ожоги, вызванные контактом с горячими поверхностями технологического оборудования и трубопроводов, трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения;
- возможность получения травмы вращающимися, движущимися частями оборудования при неисправных или отсутствующих ограждениях;
- травмы, полученные при производстве погрузочно-разгрузочных работ ручным способом и механизированным способом с применением грузоподъемных механизмов;
- возможность получения травмы при работе ручным пневмоинструментом, слесарных инструментом;
- травмы, полученные во время передвижения работников по территории цеха и завода.

Вредные производственные факторы подразделяются на физические, химические и психофизиологические.

Физические:

- радиационное воздействие при работе с ураном и его соединениями, при работе на оборудовании, загрязненном ураном;
- воздействие вибрации при использовании ручных пневматических инструментов;
- воздействие напряженности электромагнитных полей от оборудования, обуславливающее плохую слышимость звуковых сигналов, возникновение тугоухости.

Химические:

- воздействие гексафторида урана вследствие его химической токсичности;
- воздействие плавиковой кислоты и ее паров;
- воздействие раствора гидроксида калия (щелочь).

Психофизиологические:

- напряженности органов зрения при работе с ПЭВМ;
- напряженности органов слуха при повышенном шуме в зоне работ;
- динамические перегрузки при длительной непрерывной работе;
- обезвоживание организма при повышенной температуре в рабочем помещении;
- работа в ночное время.

### **5.1.2. Спецодежда и СИЗ**

Работник обеспечивается спецодеждой, спецобувью, а также другими СИЗ в соответствии с «Межотраслевыми правилами обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты» [ ] на основании «Перечней наименований профессий и должностей работников, получающих бесплатно специальную одежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты», и норм выдачи цеха с учётом конкретного характера выполняемой работы и результата аттестации (спецоценки) рабочих мест по условиям труда.

Условия применения основного комплекта спецодежды и дополнительных СИЗ приведены в приложении А [6].

## **5.2. Ядерная безопасность**

При работе с ядрено-делящимся материалом (ЯДМ) и изделиями из него, хранении и транспортировании необходимо обеспечить все условия и требования ЯБ, отраженные в [1].

### **5.2.1. Основные принципы и требования к ядерной безопасности**

Оборудование, в котором производится работа с порошком и таблетками, классифицируется как опасное оборудование.

Ядерная безопасность производства порошка диоксида урана обеспечивается недопущением возможности возникновения самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) при нормальном ходе

производственного процесса и при его единичных предвиденных отклонениях, нарушениях.

Для регистрации возникновения СЦР в цехе установлена система аварийной сигнализации (САС). При ее срабатывании персонал эвакуируется в убежище и действует согласно "Инструкции по действиям персонала в случае возникновения СЦР". ЯБ-10-03-99

Ядерная безопасность при работе с ЯДМ на участке ВПГ обеспечивается ограничением массы вещества, ограничением влажности, размещением упаковок в местах хранения и при транспортировании, применением специального оборудования и тары, особенность конструкции которых и условия эксплуатации исключает возможность возникновения СЦР. Основным критерием аппаратов, на которых проводятся ядерно-опасные работы, является трубчатая или плоская форма с соответствующими размерами по диаметру или толщине слоя.

### **5.2.2. Предельные значения параметров**

Предельные значения масс порошка и таблеток с учетом отклонения от нормального хода технологического процесса на каждую единицу оборудования, а также количество порошка, которое разрешается накапливать в фильтрах, отражены в [1]. Работать по данному технологическому процессу разрешается с порошком и таблетками с массовой долей урана-235 не более 5,0% и влажностью не более 1%.

Выгрузка порошков диоксида урана из печи АВВ в контейнеры безопасного объема производятся через установку «Влагомер». При влажности менее 1% порошок выгружается в контейнер объемом 250 (330) л. При влажности более 1% порошок выгружается в контейнера объемом не более 20 л. Ядерная безопасность обеспечивается в тех случаях ограничением количества (массы), ограничением влажности, размещением упаковок в местах хранения и при транспортировании.

Места хранения оборудования и материалов строго определены нанесённой на пол разметкой и указаны на план-схеме, разработанной и размещённой на видном месте для каждого помещения.

### **5.2.3. Действия персонала при отклонениях от безопасного ведения процесса.**

Характер работ в данном процессе таков, что позволяет получить достаточную информацию о характере производственных ситуаций с точки зрения ядерной безопасности путем ведения персоналом визуального контроля за ходом техпроцесса.

При обнаружении превышения нормы загрузки в оборудовании персонал должен немедленно убрать лишнее количество порошка или таблеток в контейнер, который необходимо убрать из оборудования. Производить перегрузку необходимо со стороны выгрузки из оборудования. Контейнер разместить на разрешенное место хранения.

При пожаре запрещается тушить оборудование и контейнеры с порошком и таблетками водой или пенным огнетушителями. Тушить пожар можно только углекислотными огнетушителями, асбестовым полотном, порошком фтористого кальция.

При течах воды на оборудование необходимо предотвратить попадание воды внутрь упаковки (контейнера).

Обо всех случаях отклонения от техпроцесса, указанных выше, персоналу необходимо сообщить мастеру (технологу) и дежурному дозиметристу.

При срабатывании САС персонал должен немедленно прекратить работу и эвакуироваться в убежище.

### **5.3. Безопасность при работе с химическими веществами**

Ну участке производства порошка диоксида урана методом ВПГ приходится взаимодействовать со следующими вещества: ГФУ, фтористоводородная кислота, пульпа, азот, водород, гидроксид калия. Основные свойства, характер воздействия этих веществ и продуктов их

разложения на организм человека, а также меры безопасности при работе с ними приведены в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1. Применяемые материалы и продукты их разложения

Наименование	Класс опасности	Свойства	Меры безопасности
Уран (U)	1	Радиоактивное, вредное химическое вещество, излучающее альфа-, бета-, гамма- и нейтронное излучения. Химически токсичен.	При работе с радиоактивными веществами в открытом виде обязательное применение СИЗ. Для защиты органов дыхания применяют респиратор ШБ-1 «Лепесток». Для защиты кожи рук необходимо применять защитные (тканевые или резиновые) перчатки. Для защиты глаз необходимо применять лицевые щитки или очки защитные, для защиты кожи тела необходимо использовать спецодежду, для защиты ног – спецобувь, чуни.
Гексафторид урана (UF <sub>6</sub> )	1	Бесцветные до белых, расплывающиеся на воздухе кристаллы. При температуре ниже 56,5°С представляет собой кристаллическое вещество белого цвета, которое при контакте с влагой воздуха подвергается гидролизу с образованием уранилфторида UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (проявляющегося в виде белого дыма) и плавиковой кислоты HF. При атмосферном давлении возгоняется, не плавясь. При более высоких давлениях (>1,5 атм.) плавится с образованием прозрачной бесцветной подвижной жидкости, обладающей большой плотностью. Температура «кипения» 56,5°С при атм. давл. 760 мм рт. ст. Температура плавления 64°С. Плотность твёрдого UF <sub>6</sub> при комнатной температуре – 5,1 г/см <sup>3</sup> . Плотность жидкого UF <sub>6</sub> при температуре 64°С – 3,7 г/см <sup>3</sup> .	Используя фильтрующий противогаз с противогазовой коробкой с фильтром ДОТ 600 можно ограничить или исключить поступление ГФУ через дыхательные пути. Поступление на кожный покров оказывается доминирующим. Поскольку фтор через кожу всасывается не мгновенно, а в течение нескольких десятков минут (через 35 минут в организм попадает 50% фтор-иона, попавшего на кожу), есть возможность своевременной дезактивацией кожных покровов уменьшить его поступление в организм. Для этой цели необходимо в течение 2-3 мин добраться до аварийного душа и провести предварительную дезактивацию кожных покровов (при загрязнении рук у ближайшего крана с водой) в течение 20-30 минут, а затем провести более тщательную обработку в санпропускнике цеха. При использовании аварийного душа в течение 2 минут с момента попадания ГФУ и продуктов его гидролиза на кожу гарантируется сохранение жизни и здоровья работнику в случае сильного загрязнения кожи, т.е. при попадании работника в струю или облака ГФУ. Поэтому

			расстояние до аварийного душа должно быть не более 130м от рабочей зоны. Опасная для жизни доза при попадании внутрь организма – 300мг по фтор-иону.
Фтористоводородная (плавиковая) кислота (HF)	1	Бесцветная жидкость с резким запахом и обжигающим «уксусным» вкусом. Разъедает стекло и другие силикатные материалы. Растворима в воде. Реагирует со многими металлами с образованием фторидов, разрушает стекло, фарфор. Опасна при вдыхании, проглатывании, попадании на кожу.	Хранить и транспортировать в полиэтиленовой таре. При устранении аварийных ситуаций использовать защитный костюм или комбинезон Тайкем F или C, панорамную маску МАГ с фильтром ДОТ 600, резиновые КЩС сапоги.
Пульпа		Донные осадки систем сбора и накопления трапных вод, образующихся после дезактивации полов, оборудования, содержащие взвесь окислов урана и растворенный уран в виде уранил-иона $UO_2^{2+}$ .	При работе применять респиратор, для защиты кожи рук применять защитные тканевые или резиновые и камерные перчатки. Для защиты глаз применять защитные очки или щитки из оргстекла, для защиты кожи тела использовать спецодежду, халаты или комбинезоны, для защиты ног – спецобувь, чуни.
Азот	4	Бесцветный газ. Химически инертен в обычных условиях. Проявляет своё действие при резком уменьшении количества кислорода в воздухе, при этом отмечаются замедление реакции, расстройство мышечных движений.	При химическом отравлении покинуть опасную зону, обратиться в медпункт цеха.
Водород	3	Бесцветный горючий газ без запаха. Нерастворим в воде. Легче воздуха. В больших концентрациях опасен при вдыхании. При высоких концентрациях вызывает удушье.	При химическом отравлении покинуть опасную зону, обратиться в медпункт цеха.
Гидроксид калия (KOH)	2	Белое, расплывающееся на воздухе твёрдое вещество, без запаха, едкое, ощущение жжения, боли в горле. Является сильным основанием. Бурно реагирует с кислотой и коррозионно-агрессивно во влажном воздухе в отношении металлов типа цинка, алюминия, олова и свинца с образованием горючего/взрывчатого газа – водорода. Реагирует с солями аммония образуя аммиак с опасностью пожара или взрыва. Агрессивен в отношении некоторых форм пластиков, резины и полимеров. Быстро абсорбирует углекислоту и влагу из воздуха с сопровождением выделения теплоты.	При работе со щёлочью применять защитный щиток, перчатки резиновые щёлочестойкие, пластиковый фартук, нарукавники.

При выполнении работ с кислотой и щёлочью, необходимо соблюдать следующие меры безопасности – работать в спецодежде, применяя: резиновые кислото- и щелочестойкие перчатки, резиновые сапоги и защитные очки. С реагентами необходимо работать осторожно, принимая меры, предупреждающие возможность разбрызгивания или проливания их на пол, оборудование, тару и одежду. В противном случае, реагенты должны быть немедленно нейтрализованы (гашённой известью) и тщательно смыты водой. В случае просыпания порошка, необходимо пропылесосить место. При выбросе ГФУ, надеть противогаз с фильтром ДОТ 600, который постоянно носится на плече аппаратчика, и немедленно покинуть помещение.

## **5.4 Радиационная безопасность**

### **5.4.1. Основы радиационной безопасности**

Согласно [1] нормы применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Нормы распространяются на следующие источники ионизирующего излучения:

- техногенные источники за счет нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

- индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;
- коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв либо, когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу

- оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы;
- индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике глаза не более 15 мЗв.
  - Устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:
  - персонал (группы А и Б);
  - все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.
  - Для категорий облучаемых лиц устанавливаются два класса нормативов:
  - основные пределы доз (ПД), приведенные в таблице 8.4.1.1;
  - допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;

Таблица 5.4.1.1 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	персонал (группа А)	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) - 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв.

Годовая эффективная доза облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения не должна превышать пределов доз, установленных в таблице 5.4.1.1.

Под годовой эффективной дозой понимается сумма эффективной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

#### **5.4.2. Радиационная безопасность при работе с ИИ**

Получаемый на участке конечный продукт, в виде порошка диоксида урана, является радиоактивным, так как входящий в его состав уран является источником  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц. В силу этого, на производственный процесс накладываются определенные ограничения и правила, регламентирующие работу с источником ионизирующего излучения.

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека в тканях могут происходить сложные физические, химические и биохимические процессы. Ионизирующие излучения вызывают ионизацию атомов и молекул вещества, в результате чего молекулы и клетки ткани разрушаются.

Воздействие ионизирующих излучений приводит к нарушению нормального течения биохимических процессов и обмена веществ в организме. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми. При небольших дозах пораженная ткань восстанавливает свою функциональную деятельность. Большие дозы при длительном воздействии могут вызвать необратимое поражение отдельных органов или всего организма (лучевое заболевание).

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда радиоактивные вещества попадают внутрь организма, например, ингаляционным путем — при вдыхании или при заглатывании с пищей или водой.

Биологическое действие ионизирующего излучения зависит от величины дозы и времени воздействия излучения, от вида радиации, размеров облучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

Для избегания последствий радиоактивного воздействия на организм человека существует ряд мер, которые исключают или снижают риск возникновения негативных последствий при работе и источником ионизирующего излучения.

Все работы с радионуклидами подразделяют на два вида: на работу с закрытыми источниками ионизирующих излучений и работу с открытыми радиоактивными источниками:

- Закрытыми источниками ионизирующих излучений называются любые источники, устройство которых исключает попадание радиоактивных веществ в воздух рабочей зоны.
- Открытые источники ионизирующих излучений способны загрязнять воздух рабочей зоны. Поэтому отдельно разработаны требования к безопасной работе с закрытыми и открытыми источниками ионизирующих излучений на производстве.

Обеспечение радиационной безопасности требует комплекса многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий работы с источниками ионизирующих излучений, а также от типа источника. Главной опасностью закрытых источников ионизирующих излучений является внешнее облучение, определяемое видом излучения, активностью источника, плотностью потока излучения и создаваемой им дозой облучения

и поглощенной дозой. Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении закрытых источников, основаны на знании законов распространения ионизирующих излучений и характера их взаимодействия с веществом. Главные из них следующие:

- Доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения времени действия.
- Интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в них в единицу времени, и обратно пропорционально квадрату расстояния.
- Интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

- уменьшение мощности источников до минимальных величин (защита количеством);
- окращение времени работы с источниками (защита временем);
- увеличение расстояния от источника до работающих (защита расстоянием) и экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения (защита экранами).

Защита количеством подразумевает проведение работы с минимальными количествами радиоактивных веществ, т.е. пропорционально сокращает мощность излучения. Однако требования технологического процесса часто не позволяют сократить количество радиоактивного вещества в источнике, что ограничивает на практике применение этого метода защиты. Защита временем основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип особенно часто применяется при непосредственной работе персонала с малыми активностями.

Защита расстоянием - достаточно простой и надежный способ защиты. Это связано со способностью излучения терять свою энергию во взаимодействиях с веществом: чем больше расстояние от источника, тем

больше процессов взаимодействия излучения с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения персонала.

Защита экранами - наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяют различные материалы, как правило, их толщина определяется мощностью излучения. Лучшими экранами для защиты от жесткого излучения - рентгеновского и гамма-излучений - являются такие материалы, как свинец, позволяющий добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана, а также более дешевые экраны делаются из просвинцованного стекла, железа, бетона, барритобетона, железобетона и воды.

По своему назначению защитные экраны условно разделяются на пять групп:

- Защитные экраны-контейнеры, в которые помещаются радиоактивные препараты. Они широко используются при транспортировке радиоактивных веществ и источников излучений;
- Защитные экраны для оборудования. В этом случае экранами полностью окружают все рабочее оборудование при положении радиоактивного препарата в рабочем положении или при включении высокого (или ускоряющего) напряжения на источнике ионизирующей радиации;
- Передвижные защитные экраны. Этот тип защитных экранов применяется для защиты рабочего места на различных участках рабочей зоны;
- Защитные экраны, монтируемые как части строительных конструкций (стены, перекрытия полов и потолков, специальные двери и т.д.). Такой вид защитных экранов предназначается для защиты помещений, в которых постоянно находится персонал, и прилегающей территории;
- Экраны индивидуальных средств защиты (щиток из оргстекла, смотровые стекла пневмокостюмов, просвинцованные перчатки и др.);

— Защита от открытых источников ионизирующих излучений предусматривает как защиту от внешнего облучения, так и защиту персонала от внутреннего облучения, связанного с возможным проникновением радиоактивных веществ в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу. Все виды работ с открытыми источниками ионизирующих излучений разделены на три класса. Чем выше класс выполняемых работ, тем жестче гигиенические требования по защите персонала от внутреннего облучения.

Способы защиты персонала при этом следующие:

- Использование принципов защиты, применяемых при работе с источниками излучения в закрытом виде.
- Герметизация производственного оборудования с целью изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду.
- Мероприятия планировочного характера. Планировка помещений предполагает максимальную изоляцию работ с радиоактивными веществами от других помещений и участков, имеющих иное функциональное назначение. Помещения для работ класса должны размещаться в отдельных зданиях или изолированной части здания, имеющей отдельный вход. Помещения для работ II класса должны размещаться изолированно от других помещений; работы III класса могут проводиться в отдельных специально выделенных комнатах.
- Применение санитарно-гигиенических устройств и оборудования, использование специальных защитных материалов.
- Использование средств индивидуальной защиты персонала. Все средства индивидуальной защиты, используемые для работы с открытыми источниками, разделяются на пять видов: спецодежда, спецобувь, средства защиты органов дыхания, изолирующие костюмы, дополнительные защитные приспособления.

— Выполнение правил личной гигиены. Эти правила предусматривают личностные требования к работающим с источниками ионизирующих излучений: запрещение курения в рабочей зоне, тщательная очистка (деактивация) кожных покровов после окончания работы, проведение дозиметрического контроля загрязнения спецодежды, спецобуви и кожных покровов. Все эти меры предполагают исключение возможности проникновения радиоактивных веществ внутрь организма.

### **8.5. Производственное освещение**

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

Для создания благоприятных рабочих условий на участке ВПГ норма освещения по СНиП 23-05-95 составляет 300 лк [5]. На участке используется комбинированное освещение, а также установлено аварийное освещение для эвакуации рабочего персонала. Для эвакуации людей из помещения должно обеспечиваться освещенность на полу по линии основных проходов не менее 30 лк [5].

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. В помещении участка ВПГ используются люминесцентные лампы ЛД и светильники типа ОД и ПВЛ.

### **8.6. Шум и вибрация**

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Шум, являясь общебиологическим раздражителем, не только действует на слуховой аппарат, но может привести

к расстройству сердечнососудистой и нервной систем, способствует возникновению гипертонической болезни [7].

Вибрация вызывает вибрационную болезнь со спазмами сосудов, ухудшает кровоснабжение кистей рук, пальцев, предплечья и сосудов сердца. В результате могут возникнуть нарушение чувствительности кожи, отложение солей, окостенение, деформация и снижение подвижности суставов. Кроме того, вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, что может вызвать в свою очередь аварию на участке.

Согласно ГОСТ 12.1.003–2014 уровень звукового давления в производственном помещении не должен превышать 93 дБ [8].

Источниками шума и вибрации на участке электролиза являются: насосы и вентиляционные системы, сила звука которых не превышает 70 дБ. В связи с этим необходимо провести следующие организационно-технические мероприятия по защите от шума и вибрации:

- рационально разместить насосы и вентиляторы по степени шумности по всему участку;
- покрыть стены звукопоглощающими материалами (акустической штукатуркой);
- использовать вибропоглощающие покрытия (резиновые прокладки);
- использовать средства индивидуальной защиты (противошумные наушники) [8].

Таким образом соблюдение вышеперечисленных мероприятий обеспечивает безопасную работу для персонала по уровню шума и вибрации на участке электролиза.

## **8.7. Микроклимат**

Воздух рабочей зоны (микроклимат) в производственном помещении определяется по следующим параметрам: температура, относительная

влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата [9] приведены в таблице 8.7.1 и в таблице 8.7.2.

Таблица 8.7.1 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	22–24	40–60	0,1
Теплый	23–25	40–60	0,1

Таблица 8.7.2 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	20,0–21,9	15–75	0,1
Тёплый	20,0–21,9	15–75	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды на участке электролиза относятся: вентиляция и кондиционирование воздуха, отопление помещений. Система отопления на участке регулируется системой центрального отопления, и имеет следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом до 25 °С, зимой до 15 °С [9].

В электролизном участке осуществляется механическая (искусственная) вентиляция. В зависимости от направления воздуха данная вентиляция является приточно-вытяжной, а по месту действия местной.

Согласно СНиП 41–01–2003 для помещения высотой от 6 до 8 м и более кратность воздухообмена должна составлять от 5 до 7 [10].

Таким образом, кратность воздухообмена проектируемого участка находится в пределах нормы. И в результате установки системы вентиляции на участке электролиза воздух рабочей зоны должен оставаться чистым и без вредных компонентов.

## **8.8. Электробезопасность**

На участке ВПГ присутствуют риски поражения человека электрическим током, так как все части основного технологического оборудования в нормальном рабочем состоянии находятся под напряжением.

Также существуют опасности поражения электрическим током при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов и при коротких замыканиях. Поэтому при работе на электролизном участке нужно соблюдать следующие меры электробезопасности [3]:

- питание электролизеров должно осуществляться от выпрямительных агрегатов напряжением не выше 12 В, имеющих защиту от короткого замыкания и сигнализацию о нарушении электрического режима;

- во избежание поражения электрическим током разборку и сборку электролизера, а также установку в электролизер анодных и катодных камер производят при отключенном электропитании;

- шины от выпрямителя к токоподводам прокладывают так, чтобы не мешать обслуживанию.

Наряду с этим на участке вывешиваются плакаты и сигнализаторы, предупреждающие о близком расположении устройства под напряжением [3]. Также для защиты рабочих от поражения электрическим током выдаются средства индивидуальной защиты в соответствии с СО 153-34.03.603-2003 [4]. К средствам индивидуальной защиты относятся: диэлектрические перчатки, изолирующие коврики и резиновые сапоги.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

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

Таким образом соблюдение вышеперечисленных мероприятий на участке электролиза будет способствовать выполнению требований по электробезопасности.

## **8.9. Пожарная безопасность**

В ПАО «НЗХК» в соответствии с Постановлением правительства РФ от 28.08.93г. №849, от 04.02.94г. №1275, Федеральным законом «О пожарной безопасности», решением отраслевой комиссии Минатома России и договора между ПАО «НЗХК» и отделом ГПС №9 разработана «Целевая программа по укреплению пожарной безопасности ПАО «НЗХК». В ПАО «НЗХК» продолжается работа по приведению цехов в надлежащее противопожарное состояние, проводятся соревнования добровольных пожарных дружин.[2]

Пожар может возникнуть при наличии трех условий:

- а) если будут в наличие горючие вещества;
- б) присутствие окислителя, поддерживающего горение;
- в) наличие импульса воспламенения.

В помещении, где выполняются производственные работы, существует опасность возникновения пожара по следующим причинам:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;

— наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

— горячих поверхностей, короткое замыкание и т.д.

Помещение должно быть оснащено средствами пожаротушения (огнетушителями ОУ – 8, ОУ – 5, порошковыми огнетушителями). Запрещается тушение пожаров водой и пенными огнетушителями.

Все мероприятия по технике безопасности разработаны в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами и ГОСТами. Таким образом, для обслуживающего персонала созданы благоприятные условия труда.

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

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение параметра высоты слоя более 7,5 кПа приводит к забивке фильтров, в то время как ниже 5 кПа – приводит к резкому снижению качества изготовленных таблеток. Изменение расхода ГФУ было исследовано в узком диапазоне от 3,0 до 3,6 м<sup>3</sup>/ч и, как показали результаты испытаний, не приводит к значимым отличиям качественных характеристик порошков и изготовленных таблеток, что свидетельствует о возможности дальнейшего увеличения производительности реактора.

В ходе данной работы была изготовлена партия 14V0416 общей массой более 3 т с увеличенным расходом ГФУ до 3,6 м<sup>3</sup>/ч. В процессе изготовления данной партии было установлено, что расходные регулировочные клапаны не позволяют обеспечить расход ГФУ более 3,8 м<sup>3</sup>/ч и поддерживать заданный увеличенный расход ГФУ при снижении давления в баллонах с ГФУ. Поэтому, работы по дальнейшему увеличению расхода до 4 м<sup>3</sup>/ч не проводилась.

Проведённые работы показали существенное влияние высоты кипящего слоя на свойства порошка диоксида урана. С одной стороны, увеличение величины высоты слоя должно приводить к увеличению среднего времени витания частиц в кипящем слое над газораспределительной решеткой реактора и росту среднего размера зерна частиц, с другой стороны сокращается расстояние до фильтров и повышается вероятность их забивки. В рамках данной работы были изготовлены партии 14V0496У и 14V0682У с увеличенным значением высоты кипящего слоя до 6,8 кПа. В процессе изготовления по основным параметрам работы реактора отличий от штатного режима зафиксировано не было. Полученные порошки были проанализированы по ряду физико-химических параметров и направлены на изготовление топливных таблеток. Результаты анализа порошков и топливных таблеток представлены в таблицах 1-2.

Изменение режима работы печи АВВ в широком диапазоне, а именно: снижение температуры на 100-135 °С (уставка по всем зонам печи 600 °С), снижение расхода водорода на 40 % (с 6,37 м<sup>3</sup>/ч до 4 м<sup>3</sup>/ч), снижение расхода пара на 40% (с 6,24 м<sup>3</sup>/ч до 4 м<sup>3</sup>/ч) не приводит к значимым отклонениям в физико-химических свойствах изготовленного порошка. По результатам разбраковки топливных таблеток, изготовленных из данных порошков, существенных отличий по качественным характеристикам таблеток не зафиксировано. По всем характеристикам топливные таблетки соответствуют требованиям [12]. Каких либо специфических дефектов, связанных с изменением режимов термообработки и расходов газов не выявлено. Было сделано предположение о возможности снижения расхода водорода и пара, подающихся на дообесфторивание, до 4-5 м<sup>3</sup>/час без ущерба качеству изготавливаемых порошков и таблеток.

Анализ химических примесей показал, что одновременное снижение расхода водорода и пара с сохранением их эквимолярного соотношения привело к повышению содержания фтора в порошке партии 14V0689/2. Ранее проведенные эксперименты показали, что снижение расхода пара и водорода по отдельности не приводит к увеличению содержания фтора. При этом в литературных источниках указывается, что наиболее эффективное обесфторивание происходит при эквимолярном соотношении пара и водорода. Это наводит на мысль, что одновременное снижение расходов газов привело к нарушению течения газовых потоков, что и привело к росту содержания фтора. Вероятно, при снижении расхода водорода и пара необходимо увеличивать расход азота для сохранения формы аэродинамического потока и лучшей канализации фторсодержащих газов.

## Список литературы

1. Официальный сайт компании "ТВЭЛ", режим доступа: <http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite/presscentre/news/fda57b80444c59e3bbd0bb65d4d5340b>
2. No. 7 in a series of essays on Radioactivity produced by the Royal Society of Chemistry Radiochemistry Group, режим доступа: [http://www.rsc.org/images/essay7\\_tcm18-17769.pdf](http://www.rsc.org/images/essay7_tcm18-17769.pdf)
3. Thermalunfo.ru, режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/plotnost-urana-i-ego-teplofizicheskie-svoystva-pri-razlichnyh-temperaturah>
4. Информационный центр атомной отрасли, режим доступа: <http://myatom.ru/>
5. Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Ядерные технологии: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 128 с.
6. Волкович В. А. Металлургия урана и технология его соединений: курс лекций : в 3 ч. / В. А. Волкович, А. Л. Смирнов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – Ч. 3. – 140 с. ISBN 978-5-7996-1282-5 (ч. 3); ISBN 978-5-7996-1280-1
7. Выходцев Е.В. Карточка проекта № 21/39-92/30944
8. В.Г. Бутов, В.А. Солоненко. НИР № 21/49-92/16998-вк от 06.12.2013 г.
9. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – 3-е изд., стер. – М.: Альянс, 2008. – 752 с.
- 10.ТИ 25000.01390
- 11.ТИ 25000.01336
- 12.ТУ 95 1823 – 2001Е
- 13.Инструкция № ЯБ-10-59-2018 по ядерной безопасности участка №2
- 14.Анализ состояния охраны труда в ПАО «НЗХК» за 2016 г.

- 15.34. Манайлов В.Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манайлов. – Л.: Энергоатомиздат, 1997. – 348 с.
- 16.СО 153-34.03.603-2003 Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. – М.: Минэнерго России, 2003. – 76 с.
17. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы и правила РФ. (СНиП 23-05-95) – М.: Минстрой России, 1995. – 107 с.
18. Инструкция ОТ № 02-01-2016 по охране труда для аппаратчика гидролиза участка №2
19. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности / В.П. Кушелев. – М.: Химия, 1977. – 280 с.
- 20. ГОСТ 12.1.003–2014.ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Межгосударственный стандарт по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014. – 16 с.**
21. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.2.4.548–96): утв. и введ. в действие от 01 октября 1996 г. взамен СанПиН 4088–86. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 30 с.
22. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Санитарные нормы и правила (СНиП 41–01–2003) утв. и введ. в действие от 30 июня 2012 г. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2012. – 54 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А** – Перечень основного комплекта спецодежды и дополнительных СИЗ

№ пп	Спецодежда и СИЗ	ГОСТ, ОСТ, ТУ
<i>Основной комплект</i>		
1	Костюм мужской куртка брюки для защиты от общих производственных загрязнений механических воздействий	ГОСТ 27575-87, ГОСТ 17925-72
2	Бельё нательное хлопчатобумажное	ГОСТ 13708-86, ГОСТ 13709-86
3	Головной убор (чепчик)	ГОСТ 23134-78 тип А модель VI
4	Ботинки кожаные с жёстким подноском 200 Дж	ГОСТ 12.4.137-2001 ГОСТ 28507-99
5	Портянки хлопчатобумажные	ГОСТ 29298-2005
6	Перчатки трикотажные вязаные	ГОСТ 12.4.252-2013
<i>Дополнительный комплект</i>		
7	Очки защитные закрытого типа	ГОСТ 12.4.253-2013
8	Перчатки резиновые технические КЦС	ГОСТ 20010-93
9	Щиток защитный лицевой НБТ-1	ГОСТ 12.4.023-84
10	Фартук из полимерных материалов	ГОСТ 14.4.251-2013
11	Нарукавники из полимерных материалов	ГОСТ 12.4.251-2013
12	Комбинезон защитный Тайкем С или F или КЗМ	ГОСТ 12.4.243-2013
13	Маска панорманая МАГ с фильтрующей коробкой ДОТ 600 (460) маркировкой А2В3Е3Р3 или А2В2Е2К2Р3 или А2В3Е2	ГОСТ 12.4.189-99
14	Противогаз промышленный с фильтрующей коробкой ДОТ 600 с маркировкой А2Е2Р2 или А2В2Е2К2Р3	ГОСТ 12.4.235-2012
15	Сапоги резиновые кислотощёлочестойкие	ГОСТ 5375-79
16	Каска защитная	ГОСТ EN 397-2012
17	Респиратор для защиты от радиоактивных аэрозолей и пыли FFP3	ГОСТ Р 12.4.191-2011
18	Куртка на утепляющей прокладке	ГОСТ Р 12.4.236-2011
19	Брюки на утепляющей прокладке	ГОСТ Р 12.4.236-2011
20	Валенки или сапоги кожаные утеплённые	ГОСТ 18724-88 ГОСТ Р 12.4.187-97
21	Шапка ушанка	ГОСТ 10325-79

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### OPTIMIZATION OF GAS CONSUMPTION IN THE TECHNOLOGY OF OBTAINING URANIUM DIOXIDE POWDERS BY PYROHYDROLYSIS OF URANIUM HEXAFLUORIDE

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM6A	Вавилов А.В.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер	Выходцев Е.В.	-		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Смирнова У.А.			

## **Annotation**

Nowadays, the process of obtaining uranium dioxide powder by pyrohydrolysis of uranium hexafluoride is being carried out at section No. 2 of shop No.10. The raw material is uranium hexafluoride with a mass fraction of uranium-235 isotope not more than 5%.

The methods of dry production of nuclear fuel are described. Pyrohydrolysis of uranium hexafluoride is considered in detail and described theoretically. Basic properties were established that affect the site's productivity and product quality. Within the framework of the study, experimental lots of uranium dioxide samples were manufactured. The economic effect was calculated for 3 modes of feeding reagents.

## Introduction

"Dry" methods for the preparation of powders were most widely used. Uranium hexafluoride is a monopole compound in uranium enrichment processes based on the isotope U-235. Pyrohydrolysis of this compound produces 25% of the world's nuclear fuel. Uranium dioxide powder of a ceramic grade is used to manufacture fuel pellets for VVER-440, VVER-1000 reactors.

Using the pyrohydrolysis method of uranium in the production of uranium dioxide powder can significantly reduce the cost of the final product in comparison with the extraction scheme used at the enterprise to date. First of all, due to the maximum automation of the technological process.

The conditions for the production of uranium dioxide powders affect its technological properties. There is a problem with powders obtained under different conditions with different technological parameters: bulk density with settling, caking, total specific surface, fractional composition. These differences affect the quality of fuel pellets produced from uranium dioxide powders. On this basis, there is a need to investigate the effect of various conditions on the quality of the powder obtained and to find such optimal manufacturing conditions.

This master's dissertation is devoted to the search for optimal operating modes of the production site with minimal energy costs in terms of productivity.

Optimization of gas consumption in the technology of obtaining uranium dioxide powders by uranium hexafluoride pyrohydrolysis. Despite the similarity to the DCFB process [2] (sequential cascade of the fluidized bed apparatus) and the IDR process [1] (series-connected tubular furnaces), the uranium hexafluoride pyrohydrolysis is a "hybrid" process, i.e. a fluidized bed reactor and a rotary kiln. This process is called the DC process. The advantage of this process organization is simplicity.

## Installation description

The uranium hexafluoride pyrohydrolysis technology consists of the following main stages-nodes (fig. 1): evaporation of uranium hexafluoride, conversion of uranium hexafluoride to uranium dioxide, defluorination of uranium dioxide powder and its stabilization, condensation of hydrofluoric acid, hydrogen afterburning.

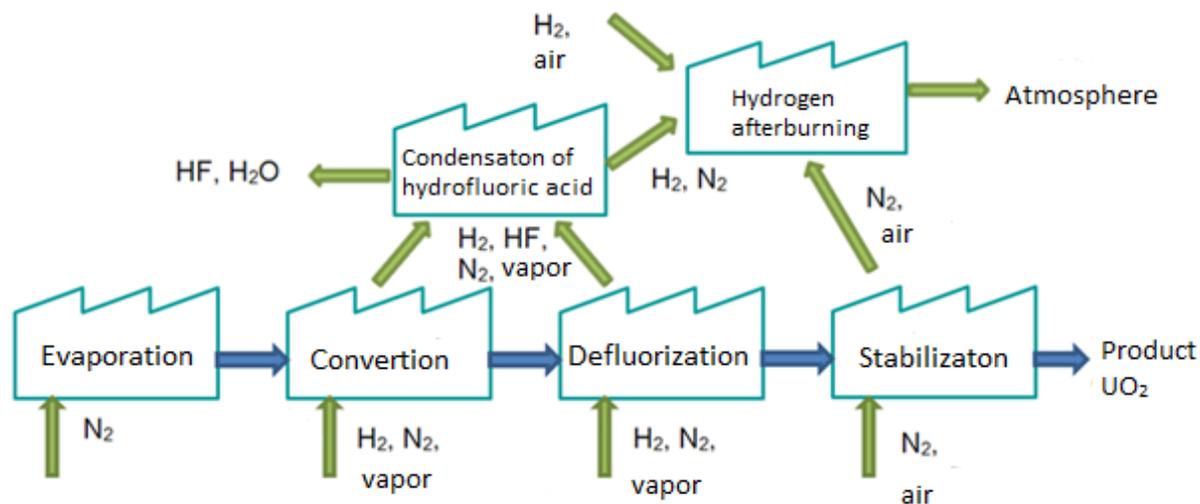


Fig. 1.

### Evaporation

Uranium hexafluoride is delivered to the section in the vessel  $V = 1.0 \text{ m}^3$  [26].

The site is equipped with two autoclaves for the evaporation process. To ensure the continuity of the process, uranium hexafluoride is evaporated from one autoclave, while another HCl container is loaded (unloaded) or is heated (cooled). Works on this site are carried out in accordance [25].

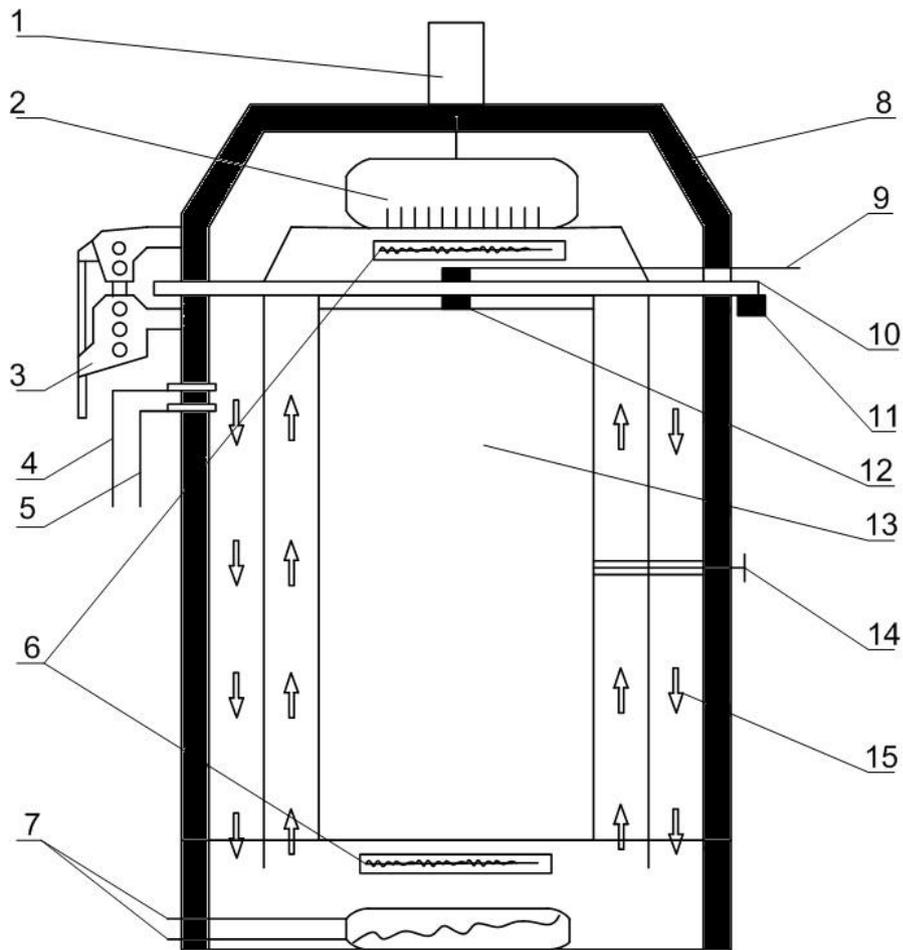


Fig. 2.

Autoclave schematic drawing. 1 - Mechanical fan drive, 2 - fan, 3 - Mechanical cover drive, 4 - Vacuum line, 5 - Compressed air supply line, 6 - Heaters, 7 - Cooling line, 8 - Cover, 9 - HFC line, 10 - Bayonet shutter, 11 - mechanical drive of the bayonet lock, 12 - flow valve HFC, 13 - balloon with HFC, 14 - thermocouple, 15 - direction of the coolant (air)

The cylinder is heated inside the autoclave by circulating hot (up to 100 ° C) air. Unlike the "wet" scheme, the sublimation process does not occur. During heating, uranium hexafluoride passes from the solid state to the gas phase. Next, the line goes to the oven, where there is a separation into two lines of the line for each reactor. An additional heating of the line takes place, the temperature is maintained at 100-120 ° C to avoid a phase transition of uranium hexafluoride.

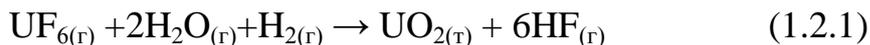
### Residual emptying

The movement of gas is due to the difference in pressure in the tank and in the reactor. When the gas in the cylinder ends, then the pressure starts to decrease, hence the gas flow is

reduced. There are two ways to maximize the emptying of the cylinder. The first method is emptying with the help of a pumping compressor, which first pumps the gas to a certain point, and then spits out the gas into the reactor. The second method is used in case the compressor is under repair. The cylinder is pumped with nitrogen to a pressure of 2.4-2.5 kPa, then the gas mixture is sent to the reactor through the working line. The procedure is repeated 7-8 times.

### Conversion

There is a conversion reactor for converting gaseous uranium hexafluoride into a particulate uranium dioxide powder with a residual fluorine concentration of less than 1%



Conversion is carried out in fluidized bed reactors. The reactor is conditionally divided into three temperature zones: the upper one - filters, the middle one - the torch, the lower one - the fluidized bed. The temperature of the upper zone is 450 ° C, middle and lower 625 ° C. The reaction proceeds with a slight excess pressure relative to atmospheric pressure, but not more than 70 kPa. Technological gases - nitrogen, hydrogen, superheated water vapor are fed under the gas distribution grid. superheated water vapor is fed through an external nozzle simultaneously with the supply of uranium hexafluoride through the internal nozzle

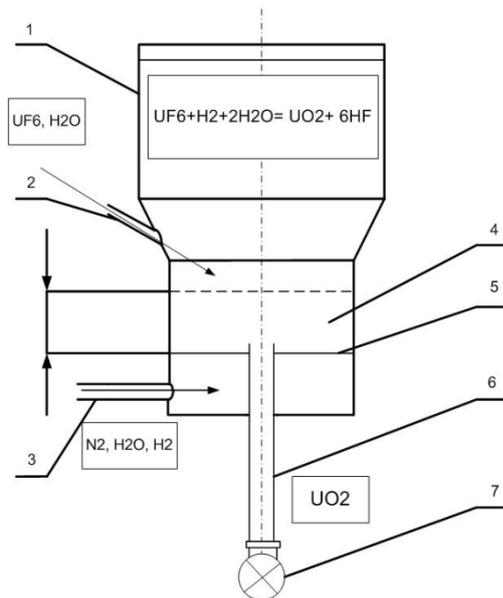


Fig. 3.

Schematic drawing of the reactor. 1 - reactor vessel; 2, 3 - nozzles for the supply of reagents; 4 - fluidized bed; 5 - gas distribution grid; 6 - a pipe for a conclusion of a product from the reactor; 7 - rotary valve.

The reactor cover is a rectangular cavity with 20 threaded holes in the upper part for fixing the ceramic-ceramic filters. At the top of the lid (from the outer part) are welded small

diameter pipes with threaded on their outer side threads for fastening multichannel nozzles for blowing cermet filters with nitrogen. In the end part of the cover there is a flange for exhaust gas discharge from the reactor.

The bottom of the reactor is a rectangular cavity. In the end part of the bottom there is a pipe in the center for the introduction of process gases under the gas distribution grid. The pipe in the bottom of the reactor is designed for unloading the reactor.

The ceramic-ceramic filters are in the form of a cylinder. In the upper part there is a threaded connection (conical). The filter element consists of a frame with a thin layer of nickel NP-2 (nickel semi-finished contains small additions of manganese, silicon, magnesium, carbon and other elements with a total content of 1% by weight). Metal ceramic ceramic filters are designed to separate the solid and gas phases from the reactor mechanically. The filters are blown with the same time interval in 4 groups, in each group of 5 filters. The filters are blown with nitrogen by excess pressure of at least 600 kPa. The blowing time is 5-10 seconds. Blow cycle of metal-ceramic filters: the first, second, third and fourth groups are blown in sequence.

A gas distribution grid is attached to the bottom of the reactor, which is designed to distribute the flow of the vapor-gas mixture evenly and maintain a "boiling" layer in the reactor. Gas distribution grid in section has the form of a rectangle. The structure of the gas distribution grid is layered (consists of a set of interwoven fibers).

The nozzle of the reactor consists of a uranium hexafluoride feed tube and a steam supply tube to the reactor. Steam is fed into the shell space, HFCs into the tube space. The nozzle is attached to the reaction chamber by a threaded connection. The material of the nozzle NP-2 (in the alloy NP-2 content of nickel and cobalt  $\geq 99.5\%$ ), the tube of steam supply to the nozzle is made of stainless steel.

Operating mode of the reactor:

The main technological parameters of the conversion reactors are given in Appendix 1. The temperature conditions of all three zones:

- upper 450 ° C: nitrogen filters are blown out under pressure of 6 bars
- medium 625 ° C: HFC and water vapor are supplied. The flow rate of water vapor depends on the consumption of HFC in the proportion of 5 to 1, but less than 14 m<sup>3</sup> / h. The reaction of pyrohydrolysis of HFC starts immediately when the HFC nozzle and steam exit from the nozzle:

- lower 625 ° C: water vapor, hydrogen and nitrogen are supplied under the gas distribution grid with flow rates of 13.74 m<sup>3</sup> / h, 6.87 m<sup>3</sup> / h and 21.1 m<sup>3</sup> / h, respectively.

The reactor operates under a slight overpressure of 5 kPa relative to one atmosphere.

### Principle of operation

Uranium hexafluoride enters the reactor through a nozzle along with superheated steam. The nozzle is inclined, so the jet of gases moves in the direction of the fluidized bed. The reaction (1.1.1) occurs at the phase boundary.

Due to the excess steam is provided by converting all the uranium hexafluoride in solid powder uranium dioxide. If this were not the case, HFCs would leave the reactor with process gas and pollute the radioactive waste treatment system for gaseous waste.

The resulting uranyl fluoride particles at the phase interface are reduced by hydrogen, which comes from under the distribution lattice. At the same time, defluorination takes place, the resulting uranium dioxide powder (1.1.2).

Due to the low density, high degree of dispersion, the uranyl fluoride particles rise upward and settle on the cermet filters, and the process gases are removed from the reaction chamber through the cermet filters. Metal-ceramic filters provide separation of the solid and gas phases. Further, a nitrogen pulse is applied to the cermet filters at a pressure of 6 MPa, i.e. a reverse blowdown (reversal of the flow) occurs, as a result of which the uranyl fluoride particles are separated from the filter and deposited on a layer of uranium dioxide powder.

The mass of the fluidized bed is determined by measuring the differential pressure, which shows the resistance of the fluidized bed. When the resistance of the fluidized bed is 6.7 kPa, a rotary valve and a screw conveyor are placed under the reaction chamber. After a few seconds, the height of the "boiling" layer is reduced, and the rotary valve is turned off, and the screw conveyor continues to work [25].

The resulting uranium dioxide powder is discharged from the reactor when a certain pressure is reached in the "boiling" layer of 6.7 kPa. This includes: a rotary valve and a screw conveyor located under the reaction chamber. After a few seconds the height of the fluidized bed is reduced and the rotary valve is switched off, a screw conveyor continues to run.

### **Defluorization**

Since the uranium dioxide powder produced in the reactor contains impurities of uranyl fluoride, an intermediate product, and also adsorbed hydrogen fluoride to the surface of the powder (the mass of HF is less than 1% by mass and the fluorine content should not exceed 0.005% by mass to uranium), the uranium dioxide powder is sent into the rotating tubular furnace ABB (Fig. 4). The furnace is conventionally divided into three zones depending on the temperature regime:

- 1st zone:  $700 \pm 10$  ° C
- 2nd zone:  $735 \pm 10$  ° C

- 3rd zone:  $725 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

The retort speed is  $3 \pm 0.5 \text{ rpm}$ . The pressure in the reaction volume of the furnace retort is maintained at 101 kPa. The technological gases are fed into the furnace countercurrent: nitrogen, hydrogen, superheated water vapor with volume flow, respectively, 2.15; 6.37; 6.24 m<sup>3</sup> / h. The incandescence process leads to the formation of uranium dioxide of stoichiometric composition.

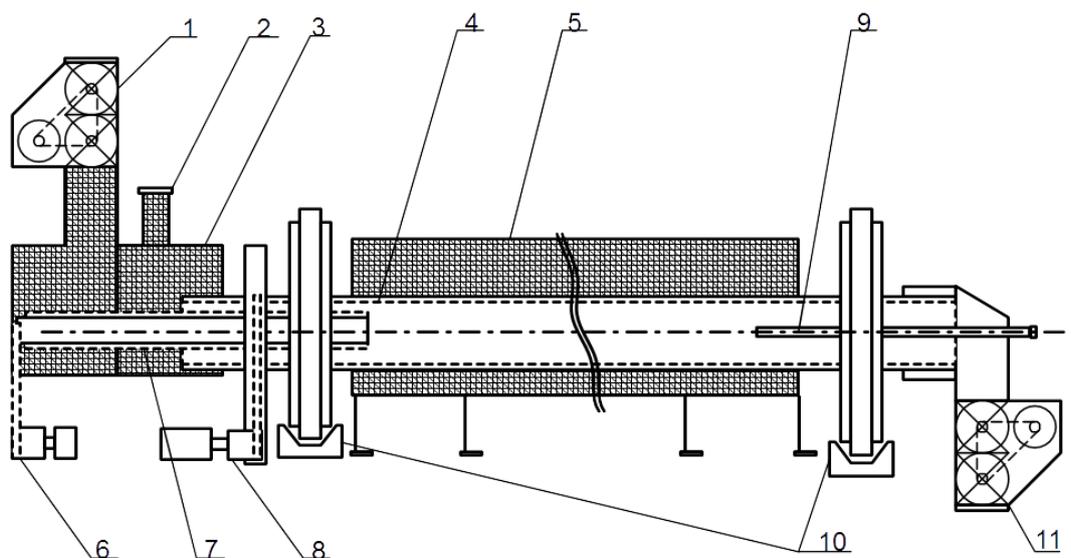


Fig. 4.

Rotating kiln of great length with electric heating. 1 - receiving hopper, 2 - exhaust gas ventilation, 3 - feed side heater, 4 - retort, 5 - electric heating furnace, 6 - screw conveyor with electric motor, 7 - transport screw, 8 - drum drive with electric motor, 9 - steam tube, 10 - movable part supports, 11 - discharge hopper

### Stabilization

Uranium dioxide enters the stabilizers (coolers) (Fig. 5). Here the powder is controlled oxidatively by adding air. In this case, the powder is cooled to a temperature below  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Due to acidification around the uranium dioxide particles, a layer of uranium oxide-oxide is formed, which prevents further oxidation of the uranium dioxide powder. Since the finely dispersed uranium dioxide powder has a pyrophoric property, this treatment prevents the powder from burning.

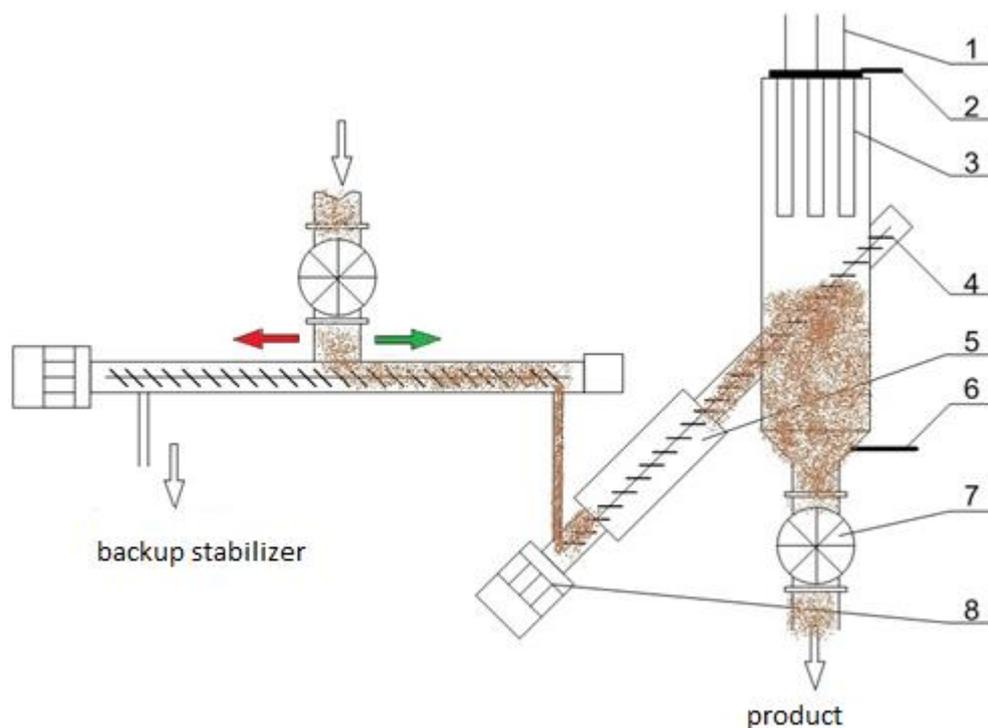


Fig. 5.

Stabilizer schematic drawing. 1 - nitrogen supply lines, 2 - off gases, 3 - ceramic filters, 4 - conveying screw, 5 - cooling jacket 6 - compressed air supply line, 7 - rotary valve, 8 - mechanical drive

There are two modes of operation: filling and stabilization. When one stabilizer is in the stabilization (oxidation) mode, the other is filled with the product. The stabilization time is 20 minutes. The transport auger loads uranium dioxide. Changing the direction of the screw rotation allows you to select the filling between two stabilizers. This is done automatically when the sensor that controls the level of filling in the stabilizers is triggered.

### **Condensation of hydrofluoric acid**

The off-gases from the reaction chambers and the electric furnace, after additional filters, enter the condensers for the off-gases. They contain by volume: 49% - nitrogen, 27% - water vapor and 24% - hydrogen fluoride. Condensation of hydrofluoric acid vapor occurs in the condenser (the condensing components are HF acid and water vapor is 98% by weight). The resulting hydrofluoric acid has a concentration of 40-45%. As a coolant for cooling the heat exchangers, an argon-hatdeep is supplied. The temperature of the coolant varies from 0 ° C to 5 ° C. From the barrels of the collectors, hydrofluoric acid is pumped to the receiving tanks for hydrofluoric acid, after samples of hydrofluoric acid are taken for a quantitative analysis of the uranium content.

Hydrofluoric acid is packed in transport containers - iron-steel steel gummed tanks intended for transportation of hydrofluoric acid or in corrosion-resistant cylinders, drums as

agreed by the consumer. Storage of hydrofluoric acid is carried out in factory packaging in covered warehouses at a temperature of no higher than 30oC. The transportation of acid is carried out by all modes of transport in accordance with the rules for the carriage of goods acting on this mode of transport.

### Hydrogen afterburning

The off-gases, consisting of nitrogen and unreacted hydrogen, also contain residues of vapors of vapors. Gas-blowing they are fed from the condenser, through the alkaline scrubber, the gas cooler into the gas burner, from where they enter the technical ventilation. The residue of hydrogen fluoride is neutralized in the scrubber by an excess of a solution of potassium hydroxide. Hydrogen is preliminarily supplied to the gas burner to maintain the flame.

### Product acquisition

The final step in obtaining the product is its control over the humidity and the presence of metal objects. Fig. 6 shows a flowchart of the final stages of obtaining and monitoring the quality of the powder.

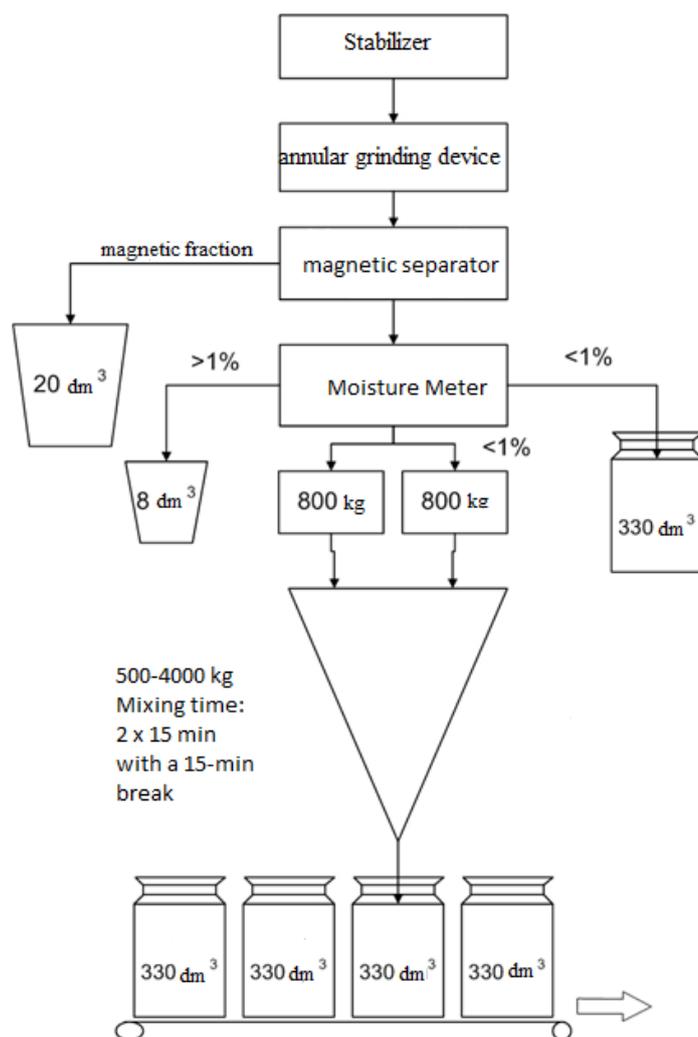


Fig. 6.

The final stages diagram of obtaining and quality control of the powder

Uranium dioxide passes through an annular grinding device with a screen size of 630  $\mu\text{m}$  for grinding agglomerates of particles [23].

Further, uranium dioxide passes through a magnetic separator. The separated magnetic fraction is packed into containers with a capacity of no more than 20  $\text{dm}^3$  and sent for processing or to a warehouse.

The next step is to control humidity. It is carried out on the installation "Moisture meter". Uranium dioxide with a moisture content of more than 1% and other non-conforming deviations is discharged into a safe container - a container with a capacity of 8  $\text{dm}^3$ . The sample is sampled for the mass fraction of moisture or other parameters, depending on the reason for cutting off the  $\text{UO}_2$  powder.

If the  $\text{UO}_2$  powder does not comply with the technical requirements of the results of the sample analysis, the product receives a label "nonconforming product" indicating the type of nonconformity, and sends it to the isolator before deciding on further processing.

In the absence of deviations from the technical requirements of  $\text{UO}_2$  powder, the container is placed in the loading station in the receiving capacity of the defluorination furnace.

Powder with a moisture content of not more than 1% is supplied pneumotransport through a rotary valve to the receiving capacity of the pre-treatment system of the powder. It is allowed to unload the  $\text{UO}_2$  product into containers with a capacity of 330  $\text{dm}^3$  or in the TUK at the station for the "bulk" lot of powder. Receiving storage tanks are unloaded alternately. The filling is not more than 800 kg. The filling control is carried out by a level sensor and sensors.

The unloading of  $\text{UO}_2$  powder goes to the conical shape. The total weight of the discharged powder should be from 500 to 4000 kg. Mixing time is twice for 15 minutes with a break of 15 minutes (a break is necessary to prevent the combustion of grains when heated by friction during the averaging procedure). The averaging modes are specified in the technological instruction [25].

The averaged  $\text{UO}_2$  powder through a rotary valve is discharged from the mixer into empty containers with a capacity of 330  $\text{dm}^3$ , or into steel drums of the TUK. The discharged  $\text{UO}_2$  powder is supplied in batch:

- sending outside the enterprise;
- intra-plant use.

## Glossary

*Nuclear reactors* are machines that convert energy stored in atoms into heat or electricity.

*Pyrohydrolysis* is a high-temperature decomposition of inorganic substances into oxides and hydroxides under the action of water vapor.

*Fluidised bed* is a physical phenomenon occurring when a quantity of a solid particulate substance (usually present in a holding vessel) is placed under appropriate conditions to cause a solid/fluid mixture to behave as a fluid. This is usually achieved by the introduction of pressurized fluid through the particulate medium.

*Defluorination* is carried out in a continuous conversion kiln consisting of a reactor with rotary tube. Gaseous UF<sub>6</sub> is fed into the reactor where it comes into contact and reacts with overheated steam.

## References

23. No. 7 in a series of essays on Radioactivity produced by the Royal Society of Chemistry Radiochemistry Group, режим доступа: [http://www.rsc.org/images/essay7\\_tcm18-17769.pdf](http://www.rsc.org/images/essay7_tcm18-17769.pdf)
24. Volkovich VA Uranium metallurgy and technology of its compounds: a course of lectures: at 3 pm / VA Volkovich, AL Smirnov. - Ekaterinburg: Publishing house Ural. 2014. – Ч. 3. – 140 с. ISBN 978-5-7996-1282-5 (ч. 3); ISBN 978-5-7996-1280-1
25. TI 25000.01390. Preparation of uranium dioxide powder by pyrohydrolysis of uranium hexafluoride.
26. TI 25000.01336