

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Василенко В.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

"26" мая 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**ДИСЦИПЛИНЫ**

**Химические реакторы**  
(наименование дисциплины)

Специальность  
**18.05.02 Химическая технология материалов**  
**современной энергетики**

специализация № 3  
**"Технология теплоносителей и радиозэкология ядерных**  
**энергетических установок"**

Квалификация выпускника  
**Инженер**

Разработчик \_\_\_\_\_ Нифталиев С.И.  
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой НХиХТ  
(наименование кафедры, являющейся ответственной за специальность)

\_\_\_\_\_ Нифталиев С.И.  
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целями освоения дисциплины «Химические реакторы» являются:

- формирование у обучающихся знаний по теории химических процессов, протекающих в реакторах;
- формирование компетенций, необходимых для реализации научно-исследовательской и проектной деятельности.

Задачи дисциплины:

профессиональная деятельность, которая включает:

- исследование радиационной устойчивости материалов и радиационно-химических процессов в теплоносителях ядерных энергетических установок;

**производственно-технологическая деятельность:**

- формирование способности понимать общие закономерности химико-технологических процессов и использовать основные законы химии в комплексной производственно-технологической деятельности;

- освоение и ввод в эксплуатацию новых технологических процессов и оборудования;

**научно-исследовательская деятельность:**

- формирование способности выполнять расчеты основных характеристик химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства;

**организационно-управленческая деятельность:**

- осуществление технического контроля в производстве материалов современной энергетики;

**проектная деятельность:**

- разработка исходных данных для проектирования новых технологических процессов и оборудования.

**Объектами профессиональной деятельности являются:**

- оборудование, приборы и методы обеспечения аналитического контроля проведения этих процессов в лабораторных и промышленных условиях.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины в соответствии с предусмотренными компетенциями обучающийся должен:

№	Код компетенции	Содержание компетенции (результат освоения)	В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:		
			знать	уметь	владеть
1	ПК-10	способностью самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности,	методику выбора реактора и расчета процесса; теорию химических процессов, протекающих в реакторах	выбирать тип реактора и выполнять расчет технологических параметров	методами расчета и анализа процессов в химических реакторах

		проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей			
2	ПК-11	готовность использовать методы оценки риска и разрабатывать меры по обеспечению безопасности разрабатываемых новых технологий обращения с объектами профессиональной деятельности	основы теории процесса в химическом реакторе, реакционные процессы и реакторы ядерной отрасли	определять оптимальные параметры процесса в химическом реакторе	методами выбора химических реакторов, обеспечивающих безопасное проведение работ

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы ВО

Дисциплина «Химические реакторы» входит в вариативную часть дисциплин.

Требования к «входным» знаниям, умениям и компетенциям студента.

Студент должен знать:

- общие закономерности химических процессов и основы теории процесса в химическом реакторе;
- методологию исследования взаимодействия процессов химического превращения и явлений переноса на всех масштабных уровнях;
- основные законы и определения общей, неорганической и органической химии;
- механизмы ядерных реакций;
- методику выбора оборудования и расчета процесса в нем.

Студент должен уметь:

- рассчитывать основные характеристики химического процесса;
- определить оптимальные и рациональные технологические режимы работы оборудования.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

Виды учебной работы	Всего часов	Семестр	
		9	
	акад.	акад.	
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	180	180	
<b>Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:</b>	63,6	63,6	
Лекции	30	30	
Лабораторные работы	15	15	
Практические работы	15	15	
Консультации текущие	1,5	1,5	
Зачет	0,1	0,1	
Курсовой проект	2	2	
<b>Виды аттестации зачет</b>	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>	
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>116,4</b>	<b>116,4</b>	
Проработка материалов по конспекту лекций (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий)	15	15	
Проработка материалов по учебным пособиям (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, доклад),	67,4	67,4	
Подготовка к защите лабораторных работ (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий)	12	12	
Оформление отчетов по лабораторным работам	12	12	
Курсовой проект	10	10	

**5 Содержание дисциплины, структурированное по разделам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

### 5.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (указывается в дидактических единицах)	Трудоемкость раздела, час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	<p>Моделирование химических реакторов и протекающих в них химических процессов. Структура математической модели химического реактора. Уравнение материального баланса для элементарного объема проточного химического реактора. Классификация химических реакторов и режимов их работы</p> <p>Реактор идеального смешения. Реактор идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения.</p> <p>Причины отклонений от идеальности в проточных реакторах. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.</p>	102,2

2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	Функция распределения времени пребывания. Экспериментальное изучение функции распределения. Функции распределения времени пребывания идеальных и неидеальных проточных реакторов. Применение функций распределения времени пребывания при расчете химических реакторов. Уравнение теплового баланса. Тепловые режимы химических реакторов. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме. Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах. Реакторы для гомогенных процессов. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой. Реакторы для газожидкостных процессов. Реакторы для гетерогенных каталитических процессов.	74,2

## 5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ЛР, час	ПЗ, час	СРО, час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	16	8	8	70,2
2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	14	7	7	46,2

### 5.2.1 Лекции

№ п/п	Наименование тем раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость, Час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	Моделирование химических реакторов и протекающих в них химических процессов. Структура математической модели химического реактора.	4
		Уравнение материального баланса для элементарного объема проточного химического реактора. Классификация химических реакторов и режимов их работы Реактор идеального смешения. Реактор идеального вытеснения.	4
		Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения.	4

		Причины отклонений от идеальности в проточных реакторах. Характеристики реакторов с неидеальной структурой потоков. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.	4
2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	Функция распределения времени пребывания. Экспериментальное изучение функции распределения. Функции распределения времени пребывания идеальных и неидеальных проточных реакторов. Применение функций распределения времени пребывания при расчете химических реакторов.	4
		Уравнение теплового баланса. Тепловые режимы химических реакторов. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме. Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах. Уравнение теплового баланса. Тепловые режимы химических реакторов. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме.	6
		Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах.	4

### 5.2.2 Практические занятия (семинары)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	Общие закономерности химических процессов.	2
		Вычисление качественных и количественных критериев оценки эффективности химического процесса, протекающего в аппарате.	2
		Моделирование реакторов идеального смешения периодического действия.	2
		Моделирование реакторов идеального вытеснения Моделирование проточных реакторов идеального смешения.	2

2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	Моделирование реакторов в неизотермическом режиме.	7
---	---	--	---

### 5.2.3 Лабораторный практикум

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	Реактор периодического действия. Каскад реакторов смешения непрерывного действия. Экспериментальное исследование работы реактора вытеснения.	8
2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	Сравнение эффективности работы проточных реакторов, описываемых различными моделями в изотермическом режиме по производительности (интенсивности) их работы. Сравнение эффективности работы проточных реакторов, описываемых различными моделями, в изотермическом режиме по селективности процесса получения целевого продукта (по выходу продукта).	7

### 5.2.4 Самостоятельная работа обучающихся (СРО)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость, час
1	Общие сведения о химических реакторах. Химические реакторы с идеальной и неидеальной структурой потоков.	Проработка материалов по конспекту лекций (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий). Проработка материалов по учебным пособиям (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, доклад). Подготовка к защите лабораторных работ (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий). Оформление отчетов по лабораторным работам. Курсовой проект.	70,2
2	Проточные реакторы. Теплоперенос в химических реакторах. Промышленные химические реакторы.	Проработка материалов по конспекту лекций (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий). Проработка материалов по учебным пособиям (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, доклад). Подготовка к защите лабораторных работ (собеседование, тестирование,	46,2



		решение кейс-заданий). Оформление отчетов по лабораторным работам. Курсовой проект.	
--	--	--	--

## 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1 Основная литература

1. Углев Н.П. Теория химических реакторов. Введение в основные разделы курса [Текст] / Н.П.Углев - Пермь, Изд-во ПГТУ, 2008.-183 с.
2. Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Текст]: / А. М. Гумеров - СПб.: Изд-во Лань, 2014. - 174 с.

### 6.2 Дополнительная литература:

1. Калекин В. С. Тепломассообменное и реакционное оборудование химических производств [Текст] / В. С. Калекин, В. А. Плотников - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.
2. Холоднов В.А. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. Практическое руководство [Текст] / В.А. Холоднов, В.П. Дьяконов - СПб.: Изд-во АНО НПО «Профессионал», 2003.- 480 с.
3. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология: научно-технический журнал [Текст] / - Иваново, 2010-2017 г.

### 6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Химические реакторы» [Электронный ресурс]: С.И. Нифталиев, Л.В. Лыгина; ВГУИТ, Кафедра неорганической химии и химической технологии. - Воронеж: ВГУИТ, 2019. - 14 с.

<http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/97008>

### 6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	<a href="https://www.edu.ru/">https://www.edu.ru/</a>
Научная электронная библиотека	<a href="https://elibrary.ru/defaultx.asp?">https://elibrary.ru/defaultx.asp?</a>
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	<a href="https://niks.su/">https://niks.su/</a>
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Электронная библиотека ВГУИТ	<a href="http://biblos.vsu.ru/megapro/web">http://biblos.vsu.ru/megapro/web</a>
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	<a href="https://minobrnauki.gov.ru/">https://minobrnauki.gov.ru/</a>
Портал открытого on-line образования	<a href="https://npoed.ru/">https://npoed.ru/</a>
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	<a href="https://education.vsu.ru/">https://education.vsu.ru/</a>

### 6.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Освоение закрепленных за дисциплиной компетенций осуществляется посредством изучения теоретического материала на лекциях, выполнения лабораторных работ. Учебно-методический комплекс дисциплины размещен в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/course/view.php?id=859>.

2. Самостоятельная работа студентов предполагает работу с отечественной литературой, учебниками, конспектами лекций, учебно-методическими материалами к лабораторным работам по алгоритму, детально изложенному в Методических указаниях к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Химические реакторы» [Электронный ресурс]: С.И. Нифталиев, Л.В. Лыгина;; ВГУИТ, Кафедра неорганической химии и химической технологии. - Воронеж: ВГУИТ, 2019, размещенных в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/course/view.php?id=859>. Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в виде тестирования.

3. Данылиев, М. М. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплин (модулей) в ФГБОУ ВО ВГУИТ [Электронный ресурс]: методические указания для обучающихся на всех уровнях высшего образования / М. М. Данылиев, Р. Н. Плотникова; ВГУИТ, Учебно-методическое управление. - Воронеж : ВГУИТ, 2016. - 32 с.

<http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/100813>

## **6.6 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Используемые виды информационных технологий:

- «электронная»: персональный компьютер и информационно-поисковые (справочно-правовые) системы;
- «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения (ОС Windows; MSOffice; КОМПАС-График; СПС «Консультант плюс»);
- «сетевая»: локальная сеть университета и глобальная сеть Internet.
- тестовые задания в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

1. Тестовые задания в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

2. Microsoft Windows XP; Microsoft Windows 2008 R2 Server; Microsoft Office 2007 Professional 07.

3. Информационная справочная система. Портал фундаментального химического образования ChemNet. Химическая информационная сеть: Наука, образование, технологии <http://www.chemnet.ru>

4. Базы данных по химии <http://chemister.ru/Links/database.htm>

5. Отечественные базы данных по химии <http://www.chem.msu.su/rus/library/rusdbs.html>

6. Химия. Базы данных. [http://elementy.ru/catalog/t39/Khimiya/g29/bazy\\_dannykh](http://elementy.ru/catalog/t39/Khimiya/g29/bazy_dannykh)

## **7 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Лекционная аудитория № 020 кафедры неорганической химии и химической технологии, оснащенная мультимедийной техникой: Мультимедийный проектор Ben Q MW 519; Сетевой коммутатор для подключения к компьютерной сети (Интернет);

2. Аудитории № 029, 027, 022 кафедры неорганической химии и химической технологии с необходимым оборудованием для проведения лабораторных работ:

- рН-метр РНер-4,
- электролизер,
- экстрактор,

- ионообменные колонны,
- гальванометр, источник питания постоянного тока Б5.30/3, электроды,
- дифференциальный теплопроводящий микрокалориметр МИД - 200,
- аналитические весы ВЛР – 200,
- технические весы NKS – 1008,
- наборы химической посуды и реактивов для выполнения лабораторного практикума.
- наборы для демонстрационных опытов: гальванический элемент, химическое равновесие, электролиты и др.

### 3. Таблицы:

3.1. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева

3.2. Электроотрицательность элементов

3.3. Таблица растворимости кислот, оснований, солей

3.4. Стандартные электродные потенциалы металлов

3.5. Плакаты по свойствам атомов химических элементов.

4. Модели пространственного строения молекул и кристаллических решеток.

5. Демонстрационные опыты на лекциях по каждой теме.

6. Коллекция природных минералов, образцов простых и сложных веществ по каждой группе периодической системы химических элементов.

7. Аппаратура, применяемая для НИРС: - криоскоп Testo 735-2, потенциостатический комплекс IPC – Compact, аналитические весы WA 34 TYP PRLT A-14, термоанализатор STA 409 LUXX фирмы NETZSCH, семисекционная электродиализная ячейка с платиновым анодом и катодом, мультисенсорная пьезокварцевая ячейка детектирования.

8. Центр коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов», оснащенные специализированной мебелью для занятий, химической посудой; весами техническими – WS-23.; весами аналитическими ВЛР-200, WA-34; иономером U-130; термостатом U-8; термометром Testo; рН-метром РНер-4; Колориметром КФК-2, КФК-2МП; микрокалориметром МИД-200; вольтметрами цифровыми – Щ68003; рН-метрами 121, 340; шкафом сушильным 2В-151; акводистиллятором ДЭ-15; прибором синхронного термического анализа STA, химический реактор лабораторный высокого давления Top Plus.

9. Аудитория № 39 кафедры неорганической химии и химической технологии для самостоятельной работы, оснащенная комплектами мебели для учебного процесса, компьютерами со свободным доступом в Интернет.

## **8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

8.1 **Оценочные материалы (ОМ)** для дисциплины включают в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;

- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;

- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

8.2 Для каждого результата обучения по дисциплине определяются показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

ОМ представляются отдельным комплектом и входят в состав рабочей программы дисциплины.

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ 2.4.17-2017 «Положение об оценочных материалах».

Документ составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики, специализация № 3 "Технология теплоносителей и радиозэкология ядерных энергетических установок".

**АННОТАЦИЯ  
К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Химические реакторы»**

(наименование дисциплины)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности, проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей (ПК-10);

- готовность использовать методы оценки риска и разрабатывать меры по обеспечению безопасности разрабатываемых новых технологий обращения с объектами профессиональной деятельности (ПК-11).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

***Знать***

- методику выбора реактора и расчета процесса; теорию химических процессов, протекающих в реакторах;
- основы теории процесса в химическом реакторе, реакционные процессы и реакторы ядерной отрасли.

***Уметь***

- выбирать тип реактора и выполнять расчет технологических параметров;
- определять оптимальные параметры процесса в химическом реакторе.

***Владеть***

- методами расчета и анализа процессов в химических реакторах;
- методами выбора химических реакторов, обеспечивающих безопасное проведение работ

**Содержание разделов дисциплины.**

Моделирование химических реакторов и протекающих в них химических процессов. Структура математической модели химического реактора. Уравнение материального баланса для элементарного объема проточного химического реактора. Классификация химических реакторов и режимов их работы. Реактор идеального смешения. Реактор идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения. Причины отклонений от идеальности в проточных реакторах. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков. Функция распределения времени пребывания. Экспериментальное изучение функции распределения. Функции распределения времени пребывания идеальных и неидеальных проточных реакторов. Применение функций распределения времени пребывания при расчете химических реакторов. Уравнение теплового баланса. Тепловые режимы химических реакторов. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме. Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах. Реакторы для гомогенных процессов. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой. Реакторы для газожидкостных процессов. Реакторы для гетерогенных каталитических процессов.