

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.05** Химические реакторы

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++z150302.22-1\_22-15.plx

Кафедра: **17** Процессов и аппаратов химической технологии

Направление подготовки:  
 (специальность) 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Профиль подготовки:  
 (специализация) Оборудование химических производств

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
4	УП	8	8	8	251	13	8	Экзамен, Зачет
	РПД	8	8	8	251	13	8	
Итого	УП	8	8	8	251	13	8	
	РПД	8	8	8	251	13	8	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09.08.2021 г. № 728

Составитель (и):

Доктор технических наук, заведующий кафедрой

Никифоров А.О.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой процессов и аппаратов химической технологии

Никифоров А.О.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Евдокимов А.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Ознакомление студентов с методами практического применения химических и физико-химических закономерностей. Формирование навыков технических расчетов химических реакторов.

### 1.2 Задачи дисциплины:

Освоение современных методов и путей практического приложения основ химической термодинамики и кинетики, необходимых для инженерного проектирования и выбора типа реактора.

Освоение путей практического приложения основ гидродинамики, теплообмена, экономики, необходимых для инженерного проектирования и выбора типа реактора.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Экология

Химия

Инженерная графика

Информационные технологии

Основы компьютерного проектирования

Материаловедение

Высшая математика

Технологические процессы и аппараты в химической отрасли

Технология конструкционных материалов

Сопrotивление материалов

Механика жидкости и газов

Детали машин

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-1: Способен организовать выполнение научно-исследовательских работ по проблемам, предусмотренным тематическим планом сектора (лаборатории)**

**Знать:** способы обработки и использования научно-технической документации.

**Уметь:** использовать вычислительную технику для расчета реактора.

**Владеть:** методами выбора типа реактора для осуществления конкретного технологического процесса и конструктивной его разработки.

**ПК-5: Способен разрабатывать рабочую, проектную и техническую документацию, принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей, узлов и другого химического оборудования в соответствии с техническими заданиями**

**Знать:** технологические расчеты реактора с целью выбора стандартного оборудования или проектирования новой аппаратуры.

**Уметь:** производить технологические расчеты реактора с целью выбора стандартного оборудования или проектирования новой аппаратуры.

**Владеть:** методами выбора типа реактора для осуществления конкретного технологического процесса и конструктивной его разработки

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа			СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)	Лаб. (часы)		
Раздел 1. Введение	4					
Тема 1. Классификация реакторов. С помощью термодинамических расчетов находят: константы равновесия химических реакций; равновесные степень превращения, выход и состав продуктов реакций; тепловые эффекты реакций, зависимости констант равновесия и скорости химических реакций от температуры.		1	4			ИЛ
Тема 2. Кинетические уравнения реакций позволяют определить значение констант скоростей и продолжительность реакций, необходимых для расчета скорости и времени процесса химического превращения вещества в реакторе.		1			50	
Раздел 2. Материальный и тепловой балансы химического процесса						
Тема 3. Уравнения материального и теплового баланса служат основой расчёта реакционного объема аппарата (при заданной степени превращения) или степени превращения в реакторе (при заданных условиях). При расчете чаще всего пользуются выражением общего баланса, составленного по одному из исходных веществ, участвующих в химическом процессе. Лабораторная работа № 1 - Исследование и расчет реактора-котла.		1		4	40	
Тема 4. Вид уравнения зависит от типа реактора, в котором протекает процесс химического превращения веществ. Материальный баланс представляет собой основу для вывода зависимости связи между степенью превращения, скоростью и временем химического процесса, которая является необходимым элементом его расчета и носит название характеристического уравнения реактора. Тепловой баланс процесса следует рассматривать совместно с его материальным балансом, если химическое превращение вещества протекает в неизотермических условиях	1			50		

Раздел 3. Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химических реакторах					
Тема 5. При проектировании химического реактора и оценке его работы необходимо знать степень превращения исходных веществ в продукты реакции, выход продуктов и избирательность химического превращения веществ. Расчетные формулы для нахождения этих величин, а также связи между ними определяются, прежде всего, типом реакции и реактора, а также кинетическими закономерностями химического превращения вещества	1	4		40	
Тема 6. В химических реакторах изменение концентрации веществ связано с продолжительностью химического процесса и временем пребывания реагирующих веществ в зоне реакции. Распределение времени пребывания в реакционном объеме аппарата может качественно охарактеризовано на основе использования функции распределения. Вид функции раскрывает определенным образом структуру потоков взаимодействующих веществ, их перемешивание в реакторе.	1			40	
Раздел 4. Сравнение и выбор химического реактора.					
Тема 7. Основными факторами сравнения химических реакторов, определяющими выбор типа аппарата, является кинетика химической реакции, отношение порядков основной и побочных реакций, а также распределение времени пребывания реагентов, концентраций и температур в реакционном объеме. Эти факторы в различных типах реакторов могут по разному влиять на степень превращения реагентов, избирательность их химического превращения, а, следовательно, и на себестоимость получаемого продукта. Лабораторная работа № 2 - Исследование моделей реакторов. Лабораторная работа № 3 - Исследование барботажного реактора.	1	4		20	
Тема 8. Для полной характеристики эффективности реактора необходимо иметь его технологические и экономические оценки.	1			11	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	8	8	8	251	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Зачет)		2,75		10,25	

Всего контактная работа и СР по дисциплине		26,75	261,25	
--	--	-------	--------	--

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-1	1. Излагает методы технологические расчеты реактора 2. Использует методы расчета основных показателей работы реактора 3. Проводит выбор типа реактора для осуществления конкретного технологического процесса	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания
ПК-5	1. Демонстрирует умение использования научно - технической документации 2. Проводит технико-экономическую оценку аппаратов для конкретного технологического процесса с целью обоснования выбора стандартизированной аппаратуры 3. Проводит конструктивную разработку реактора	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)		Обучающийся показывает всесторонние знания в области химических реакторов и их оформления. Владеет основными понятиями и терминологией во время ответов. Хорошо знаком с основной и дополнительной литературой. Целеустремленно использует и применяет базовые знания в области физико-математических наук. Проявляет эрудицию при работе с учебным материалом.
4 (хорошо)		Обучающийся показывает достаточный уровень знаний по основам теории химических процессов. В целом разбирается в терминологии. Усвоил основную литературу; допускает некоторые погрешности и несущественные ошибки в ответах на вопросы экзаменационного билета и в ответах на дополнительные вопросы преподавателя.
3 (удовлетворительно)		Обучающийся показывает знания учебного материала из лекций и основной литературы. В целом показывает знания базовых законов по химическим процессам. Допускает существенные ошибки в ответах, но может их устранить под руководством преподавателя
2 (неудовлетворительно)		Обучающийся не имеет достаточного уровня знаний дисциплины. Путается в понятиях, терминологии и формулировках. Плохо знает литературу. Допускает существенные и принципиальные ошибки и не может их устранить даже с помощью преподавателя. Списывание, попытка использования неразрешенных технических средств или подсказки другого человека.
Зачтено	Обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по	

	существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы, способен правильно применить основные методы и инструменты при решении практических задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.	
Не зачтено	Обучающийся не может изложить значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неточности в формулировках и доказательствах, нарушая в последовательности изложения программного материала; неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 4	
1	Общая характеристика гомогенных процессов. Аппаратурное оформление гомогенных некаталитических процессов.
2	Уровень химического процесса и уровень химического реактора в иерархической структуре химического производства.
3	Аналитический метод расчета КРИС-Н.
4	Способы поддержания оптимального температурного режима в случае протекания обратимой экзотермической реакции.
5	Способы повышения степени превращения реагентов в случае проведения процесса в адиабатическом РИС-Н.
6	Тепловая устойчивость работы реакторов (на примере адиабатического РИС-Н).
7	Математическое описание РИВ в различных тепловых режимах.
8	Математическое описание РИС-П в различных тепловых режимах.
9	Математическое описание РИС-Н в различных тепловых режимах.
10	Уравнение теплового баланса химического реактора в общем виде, его анализ. Тепловые режимы работы реакторов.
11	Графический метод расчета КРИС-Н.
12	КРИС-Н: характеристика, назначение. Уравнение материального баланса КРИС-Н.
13	Уравнение материального баланса РИВ. Вывод характеристического уравнения.
14	Уравнение материального баланса РИС-П. Вывод характеристического уравнения.
15	Уравнение материального баланса РИС-Н. Вывод характеристического уравнения.
16	Общая характеристика идеальных моделей химических реакторов (допущения об идеальности, характер изменения параметров в зависимости от объема реактора и от времени).
17	Моделирование химических реакторов: понятие об элементарном объеме и элементарном промежутке времени, уравнение материального баланса химического реактора (в общем виде) и его анализ.
18	Технологические критерии оценки эффективности процесса, протекающего в химическом реакторе: селективность процесса получения продукта, расходные коэффициенты по сырью. Связь селективности со степенью превращения и выходом продукта.
19	Технологические критерии оценки эффективности протекания процесса в химическом реакторе: степень превращения реагента, выход продукта, связь между ними.
20	Классификация реакторов.

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

## 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Используя термодинамические данные, рассчитать константу равновесия газофазной реакции гидратации этилена при температуре 300 °С (573 К):  $C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$ .
2. При 3500 С° скорость химической реакции в 9 раз меньше, чем при 4000 С°. Какова энергия активации процесса, если движущая сила не изменилась с изменением температуры?
3. Жидкофазная реакция типа  $A \rightarrow 2S$  имеет константу скорости, равную 3.9 ч<sup>-1</sup>. Объемный расход исходного вещества с концентрацией 0.7 моль/л составляет 13,9 м<sup>3</sup>/ч. Рассчитать суточную производительность по продукту R для реактора идеального смешения объемом 2,5 м<sup>3</sup>.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  + Письменная  + Компьютерное тестирование  Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- Время на подготовку ответа на зачете 45 минут.
- Время на подготовку ответа по билету 30 минут.
- Ответ по билету 15 минут.
- В течение семестра выполняется контрольная работа.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Закгейм, А. Ю.	Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов	Москва: Логос	2012	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/9103.html">https://www.iprbooks.hop.ru/9103.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров	Сборник кейсов по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» [Текст] : учебно-практическое пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2018	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2018_10_03_01.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriapxt/2018_10_03_01.pdf</a>
И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский, А.С. Решанов, В.Н. Соколов	Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов"	СПб.: Политехника	1992	
А.В. Курзин, Л.М. Попова, А.Н. Евдокимов	Химические реакторы [Текст] : учеб. пособие	М-во образования РФ, СПбГУПТД. – СПб.: СПбГУПТД	2014	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kaforgchem/3.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kaforgchem/3.pdf</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

- Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
- Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
- Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>



### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

PTC Mathcad 15  
AutoCADDesign  
MicrosoftWindows 8  
MicrosoftOfficeProfessional 2013

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Б-209	Напорная установка, установка гидравлических сопротивлений, ректификационная установка, установка роторно-пульсационная, установка для исследования процессов перемешивания в жидких средах, установка для исследования кинетики инфракрасной сушки.
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска