

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 25.10.2024 13:51:52  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«21» мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины  
ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ**

Направление подготовки

**18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

Направленность программы бакалавриата

**Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химической и биотехнологии**

Кафедра **ресурсосберегающих технологий**

Санкт-Петербург

2021

**Б1.В.04**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		Д. А. Сладковский

Рабочая программа дисциплины «Химические реакторы» обсуждена на заседании кафедры ресурсосберегающих технологий  
протокол от «14» мая 2021 № 5  
Заведующий кафедрой

Н. В. Кузичкин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии  
протокол от «18» мая 2021 № 10

Председатель

М. В. Рутто

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки		Д.А.Смирнова
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	6
3. Объем дисциплины	6
4. Содержание дисциплины	7
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий	7
4.2. Занятия лекционного типа	8
4.3. Занятия семинарского типа	10
4.3.1. Семинары, практические занятия	10
4.4. Самостоятельная работа обучающихся	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	13
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	13
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	13
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	14
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	15
10.1. Информационные технологии	15
10.2. Программное обеспечение	15
10.3. Базы данных и информационно-справочные системы	15
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	15
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.	15

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-4</b>                      Готов обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на оптимизацию потребления ресурсов; проектировать новое оборудование</p>	<p><b>ПК-4.1</b>                      Выбор типов и расчет параметров конструкций реакторных аппаратов на основе данных о химических превращениях</p>	<p><b>Знать:</b> основные уравнения химической термодинамики применительно к химическим реакциям; уравнения формальной кинетики и кинетики сложных, цепных гетерогенных реакций; физико-химические закономерности адсорбционных и каталитических явлений и их природу; особенности конструкции химических реакторов в основных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии                      методы термодинамического описания химических равновесий в многокомпонентных системах; (ЗН-1)  <b>Уметь:</b> прогнозировать влияние различных факторов на равновесие в химических реакциях; определять направленность процесса в заданных начальных условиях; определять составы сосуществующих фаз в гетерогенных системах; оценивать влияние режимных параметров процесса на протекание химических реакций (У-1)  <b>Владеть:</b> навыками вычисления тепловых эффектов химических реакций при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема; констант равновесия химических реакций при заданной температуре, давления насыщенного пара над индивидуальным веществом; представлениями об основных проблемах и задачах разработки и применения химических реакторов. (Н-1)</p>
	<p><b>ПК-4.2</b>                      Расчет основных параметров эффективности химико-технологического процесса на основании анализа экспериментальных данных</p>	<p><b>Знать:</b> необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов; особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений; (ЗН-2)  <b>Уметь:</b> анализировать и проводить экспериментальные исследования с целью изучения химических превращений (У-2)</p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
		<p><b>Владеть:</b> методами определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента; навыком расчетов реакторных устройств в масштабе лабораторной установки, а также в промышленных масштабах для новых и действующих промышленных объектов. (Н-2)</p>
<p><b>ПК-7</b> Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам, планировать экспериментальные исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты</p>	<p><b>ПК-7.2</b> Расчет основных кинетических параметров химических процессов на основании экспериментальных данных</p>	<p><b>Знать:</b> физико-химические основы моделирования химических реакторов; способы повышения эффективности реакторных систем (ЗН-3)  <b>Уметь:</b> составлять кинетические уравнения в дифференциальной и интегральной формах для кинетически простых реакций и прогнозировать влияние температуры на скорость процесса; рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта с точки зрения сбережения материальных и энергетических ресурсов. (У-3)  <b>Владеть:</b> навыком моделирования химических реакторов; методами анализа эффективности работы химических производств; определения технологических показателей процесса. (Н-3)</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к дисциплинам части дисциплин, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.04), и изучается на 3 курсе в 5 и 6 семестрах.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами в процессе освоения дисциплин «Математика», «Физика», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Общая химическая технология».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Химические реакторы» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов		
	Очная форма обучения		
	Всего	5 семестр	6 семестр
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>5 / 180</b>		
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>118</b>		
занятия лекционного типа	<b>36</b>	36	-
занятия семинарского типа (в т.ч. на практ.подготовку)	<b>66 (8)</b>	18 (2)	48 (6)
семинары, практические занятия (в т.ч.на практ.подготовку)	34 (5)	18 (2)	16 (3)
лабораторные работы	32 (3)	-	32 (3)
курсовое проектирование (КР или КП)	<b>16</b>	-	16
КСР	-	-	-
другие виды контактной работы	-	-	-
<b>Самостоятельная работа</b> (в т.ч.на практ.подготовку)	<b>35</b>	<b>18</b>	<b>17</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	Устный опрос	Устный опрос	Устный опрос
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП , зачет, экзамен)	<b>Экзамен (27), зачет, курсовая работа</b>	Зачет	Экзамен (27), курсовая работа

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции (код направленности подготовки)	Формируемые индикаторы (код направленности подготовки)
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
Содержание дисциплины в 5 семестре							
1.	Введение	2	2	-	-	ПК-7	ПК-7.2
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	4	2	-	2	ПК-7	ПК-7.2
3.	Кинетика химических реакций	4	4	-	2	ПК-4	ПК-4.2
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	4	2	-	2	ПК-7	ПК-7.2
5.	Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	6	2	-	2	ПК-4	ПК-4.2
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора.	4	2	-	2	ПК-4	ПК-4.1
7.	Гидродинамика и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	4	2	-	2	ПК-4	ПК-4.1
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	4	2	-	2	ПК-7	ПК-7.2
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	2	-	-	4	ПК-7	ПК-7.2
10.	Моделирование промышленных реакторов	2	-	-	-	ПК-7	ПК-7.2
Содержание дисциплины в 6 семестре							
1.	Введение	-	-	-	-	ПК-7	ПК-7.2
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	-	4	-	-	ПК-7	ПК-7.2
3.	Кинетика химических	-	2	-	-	ПК-4	ПК-4.2

	реакций						
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	-	2	-	-	ПК-7	ПК-7.2
5.	Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	-	2	-	-	ПК-4	ПК-4.2
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора.	-	2	-	-	ПК-4	ПК-4.1
7.	Гидродинамика и устройство реактора с псевдооживленным слоем катализатора	-	2	-	-	ПК-4	ПК-4.1
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	-	2	-	-	ПК-7	ПК-7.2
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	-	-	16	-	ПК-7	ПК-7.2
10.	Моделирование промышленных реакторов	-	-	16	17	ПК-7	ПК-7.2

#### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1.	<u>Введение.</u> Общие сведения о химических реакторах. Основные типы конструкций химических реакторов. Важнейшие понятия и термины каталитических процессов. Обзор математических моделей химических реакторов. Уравнение материального баланса химического реактора. Классификация химических реакторов и режимов их работы.	2	ЛВ
2.	<u>Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ.</u> Метод наименьших квадратов: предпосылки и численная реализация. Значимость регрессионных коэффициентов и достоверность регрессионной зависимости. Определение эмпирических зависимостей между параметрами каталитического процесса.	4	ЛВ



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3.	<u>Кинетика химических реакций.</u> Закономерности протекания химических реакций во времени. Определение кинетического уравнения. Учет диффузионных и адсорбционных процессов в кинетических уравнениях. Учет влияния температуры на скорость химических реакций. Механизмы химических превращений и порядок реакции. Необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов. Особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений. Анализ экспериментальных данных с целью изучения химических превращений Методы определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента	4	ЛВ
4.	<u>Математические модели идеальных химических реакторов.</u> Методы поиска решения систем нелинейных и дифференциальных уравнений. Математическая модель реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения. Особенности программной реализации моделей идеальных реакторов.	4	МК
5.	<u>Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора.</u> Гидродинамика потока. Поля скоростей реагентов в реакторах при ламинарном и турбулентном режимах течения. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.	6	МК
6.	<u>Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора.</u> Роль тейлоровской диффузии при переносе тепла и массы в потоках со значительным градиентом скорости. Теплопроводность в системах: гранула-гранула, гранула-стенка, гранула-поток. Особенности теплопереноса в псевдооживленном слое.	4	ЛВ
7.	<u>Гидродинамическая и устройство реактора с псевдооживленным слоем катализатора.</u> Перемешивание твердой и газообразной фаз. Коэффициент диффузии. Определение времени пребывания сырья в зоне реакции. Приёмы, ликвидирующие недостатки псевдооживленного слоя.	4	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
8.	<u>Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.</u> Химические факторы, влияющие на выбор реактора. Типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора. Трубчатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Трубчатые реакторы с внутренним теплообменом. Секционированные реакторы с промежуточным вводом сырья, с внутренними или выносными теплообменниками. Реакторные системы в промышленных химических процессах. Каталитические мембранные реакторы. Реакторные системы для получения биотоплив. Микрореакторы. Устройство узла	4	МК, КС
9.	<u>Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям.</u> Определение устойчивости стационарного режима. Условия возникновения множественности стационарных состояний. Оценка способов организации работы реакторов, способствующих перемещению стационарных точек в фазовом пространстве.	2	ЛВ
10.	<u>Моделирование промышленных реакторов.</u> Продольное и поперечное перемешивание потока в реакторах с аксиальным и радиальным направлением потока. Математическая модель промышленного реактора со стационарным слоем. Настройка и проверка адекватности модели.	2	МК

### 4.3. Занятия семинарского типа

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. на пр.подготовку	Инновационная форма
1	Расчет процесса смешения потоков, селективности химических превращений и составов на выходе из реактора бензольного риформинга	2	0,5	МК
2	Определение эмпирической зависимости между параметрами каталитического процесса риформинга, выходом стабильного риформата и октановым	6	0,5	МШ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. на пр.подготовку	Инновационная форма
	числом бензина			
3	Определение константы скорости реакций по результатам эксперимента в реакторе проточного типа	6	0,5	Т
4	Моделирование реактора идеального вытеснения. Определение оптимального объема реактора и оптимальной температуры на входе в реактор для проведения ряда химических реакций	2	0,5	КтСм, Т
4	Моделирование реактора идеального смешения	2	0,5	КтСм, Т
5	Расчет гидравлического сопротивления реактора со стационарным слоем катализатора	4	0,5	МШ
6	Расчет теплового эффекта реакций дегидрирования, изомеризации, крекинга и дегидроциклизации	4	0,5	Т
7	Экспериментальное определение гидравлического сопротивления реактора псевдооживленного слоя и разработка модели реактора ПС	4	0,5	КтСм
8	Разработка модели реактора риформинга бензина	2	0,5	КтСм
8	Оценка влияния режимных параметров реактора риформинга на выход и качество катализата	1		Т
8	Расчет теплового баланса промышленного реактора риформинга бензинов	1	0,5	Т

#### 4.3.2. Лабораторные работы

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. на пр.подготовку	Инновационная форма
9	Анализ устойчивости каталитической системы для реакции, идущей с значительным экзотермическим эффектом	16	1	Т, КтСм
10	Моделирование и оптимизация реакторного блока процесса риформинга бензина	8	1	Т, КтСм
10	Моделирование процесса изомеризации с рециклом непревращенных парафинов	8	1	Т, КтСм

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Метод наименьших квадратов: предпосылки и численная реализация. Значимость регрессионных коэффициентов и достоверность регрессионной зависимости применительно к анализу каталитических систем	2	Устный опрос
3	Учет диффузионных и адсорбционных процессов в кинетических уравнениях. Механизмы химических превращений и порядок реакции.	2	Устный опрос
4	Методы поиска решения систем нелинейных и дифференциальных уравнений применительно к каталитической системе. Каскад реакторов идеального смешения. Реакторы переодического действия	2	Устный опрос
5	Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.	2	Устный опрос
6	Теплопроводность в системах: гранула-гранула, гранула-стенка, гранула-поток.	2	Устный опрос
7	Применение реакторов с псевдооживленным слоем в процессах окисления диоксида серы и каталитического крекинга. Приёмы, ликвидирующие недостатки псевдооживленного слоя.	2	Устный опрос
8	Трубчатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Каталитические мембранные реакторы. Реакторные системы для получения биотоплив. Микрореакторы.	2	Устный опрос
9	Условия возникновения множественности стационарных состояний. Оценка способов организации работы реакторов, способствующих перемещению стационарных точек в фазовом пространстве.	4	Устный опрос
10	Разработка моделей химических реакторов в программе Aspen Hysys	2	Устный опрос
10	Оптимизация моделей химических реакторов в программе Aspen Hysys	15	Защита курсовой работы

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде зачета в 5 семестре, защиты курсовой работы и экзамена в 6 семестре.

Зачет предусматривает проведение устного коллоквиума по тематике пройденного на лекционных занятиях материала.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами для проверки знаний, а также практическими заданиями для проверки умений и навыков.

При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня вопросов и практическое задание, время подготовки студента к ответу - до 45 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

### **Вариант № 1**

1. Классификация химических реакторов и режимов их работы
2. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.
3. Расчетная задача. Пересчет концентраций входящих и выходящих потоков реактора риформинга и определение селективности реакций химических превращений

Примеры тем курсовых работ:

1. Моделирование и оптимизация реакторного блока бензольного риформинга
2. Моделирование и оптимизация реакторного блока риформинга бензина
3. Моделирование и оптимизация реактора каталитического крекинга
4. Реакторы процесса риформинга с движущимся катализатором, разработанным Французским институтом нефти
5. Реактор процесса пиролиза
6. Моделирование и оптимизация реактора процесса гидрокрекинга
7. Реакторы процесса конверсии природного газа

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка за зачет «зачтено», оценка за экзамен и курсовую работу «удовлетворительно».

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Власов, Е. А. Общая химическая технология : Учебное пособие / Е. А. Власов, А. Ю. Постнов, С. А. Лаврищева; под ред. Е. А. Власова ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии катализаторов. – Санкт-Петербург. : [б. и.], 2009. - 140 с.

2. Общая химическая технология : учебник для химико-технологических спец. вузов : В 2-х частях / под ред. И. П. Мухленова. - 5-е изд., стер. - Москва : Альянс, 2009. - Ч. 1 : Теоретические основы химической технологии / И. П. Мухленов [и др.]. - 2009. - 256 с. - ISBN 978-5-903034-78-9
3. Общая химическая технология : учебник для химико-технологических спец. вузов : В 2-х частях / Под ред. И. П. Мухленова. - 5-е изд., стер. - Москва : Альянс, 2009. - Ч. 2 : Важнейшие химические производства / И. П. Мухленов [и др.]. - 2009. - 263 с. - ISBN 978-5-903034-79-6
4. Математическое моделирование химико-технологических процессов : Учебное пособие для вузов / Ас. М. Гумеров [и др.]. - Москва : КолосС, 2008. - 159 с. - ISBN 978-5-9532-0631-0
5. Машины и аппараты химических производств : Учебное пособие для вузов по спец. "Машины и аппараты химических производств" направления подготовки "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" / А. С. Тимонин, Б. Г. Балдин, В. Я. Борщев и др.; под ред. А. С. Тимонина. - Калуга : Изд-во Н. Ф. Бочкаревой, 2008. - 871 с. - ISBN 978-5-89552-227-1
6. Компьютерное моделирование химико-технологических систем в среде Aspen Hysys 8.6 : учебное пособие / В. И. Федоров [и др.]. – Санкт-Петербург [б. и.], 2019. - 77 с.

#### **б) электронные учебные издания:**

1. Власов, Е. А. Общая химическая технология : Учебное пособие / Е. А. Власов, А. Ю. Постнов, С. А. Лаврищева; под ред. Е. А. Власова ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии катализаторов. - Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург. : [б. и.], 2009. - 140 с.
2. Компьютерное моделирование химико-технологических систем в среде Aspen Hysys 8.6 : учебное пособие / В. И. Федоров [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. ресурсосберегающих технологий. - Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. - 77 с. : цв. ил. - Библиогр.: с. 76.

### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Все виды занятий по дисциплине «Химические реакторы» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ(ТУ) 044-2012. КС УКВД. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа;

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:  
плановость в организации учебной работы;  
серьезное отношение к изучению материала;  
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1. Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;  
взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение**

Программы Microsoft Office (Microsoft Word, Microsoft PowerPoint), операционная система MS Windows. MathCad. Специализированные моделирующие программные пакеты ASPEN®.

### **10.3. Базы данных и информационно-справочные системы**

Научная электронная библиотека e-library.ru –<http://elibrary.ru>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных занятий используется аудитория на необходимое количество посадочных мест, оснащенная демонстрационным оборудованием; для ведения практических занятий используется компьютерный класс, оснащенный объединенными в сеть персональными компьютерами, оборудованием и техническими средствами обучения на необходимое количество посадочных мест. для ведения лабораторных занятий используется компьютерный класс, оснащенный объединенными в сеть персональными компьютерами, оборудованием и техническими средствами обучения на необходимое количество посадочных мест, оснащенными специализированным программным обеспечением, позволяющим выполнять имитационное моделирование технологических объектов промышленных производств.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине «Химические реакторы»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-4</b>	Готов обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на оптимизацию потребления ресурсов; проектировать новое оборудование	Начальный
<b>ПК-7</b>	Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам, планировать экспериментальные исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты	Начальный



## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-4.1</b> Выбор типов и расчет параметров конструкций реакторных аппаратов на основе данных о химических превращениях	<b>Знает</b> основные уравнения химической термодинамики применительно к химическим реакциям; уравнения формальной кинетики и кинетики сложных, цепных гетерогенных реакций; физико-химические закономерности адсорбционных и каталитических явлений и их природу; особенности конструкции химических реакторов в основных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии методы термодинамического описания химических равновесий в многокомпонентных системах (ЗН-1)	Правильные ответы на вопросы №№1-5 к зачету; правильные ответы на вопросы №№1-15 к экзамену	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, может объяснить их смысл	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения, может пояснить основные закономерности на примерах
	<b>Умеет</b> прогнозировать влияние различных факторов на равновесие в химических реакциях; определять направленность процесса в заданных	Корректное выполнение и анализ результатов практических работ	Перечисляет принципы зависимости протекания химических реакций от различных факторов	Выполняет количественную и качественную оценку зависимости протекания химических реакций	Выполняет количественную и качественную оценку зависимости протекания химических реакций от

Код и наименование	Показатели сформированности	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
				от различных факторов	различных факторов, объясняет пути и последствия воздействия на ход химического превращения
	начальных условиях; определять составы сосуществующих фаз в гетерогенных системах; оценивать влияние режимных параметров процесса на протекание химических реакций (У-1)				
	<b>Способен пользоваться</b> навыками вычисления тепловых эффектов химических реакций при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема; констант равновесия химических реакций при заданной температуре, давления насыщенного пара над индивидуальным веществом; представлениями об основных проблемах и задачах разработки и применения химических реакторов. (Н-1)	Корректное выполнение практических работ	Имеет представление о принципах технологических расчетов, применяемых при разработке и оптимизации химических реакторов	Способен осуществлять технологические расчеты, применяемых при разработке и оптимизации химических реакторов	Способен самостоятельно формулировать постановку задачи и осуществлять технологические расчеты, применяемых при разработке и оптимизации химических реакторов

Код и наименование	Показатели сформированности	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
ПК-4.2 Расчет основных параметров эффективности химико-технологического процесса на основании анализа экспериментальных данных	Называет необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов; особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений (ЗН-2)	Правильные ответы на вопросы №№6-10 к зачету; правильные ответы на вопросы №№16-33 к экзамену	Перечисляет основные требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов и принципы масштабирования	Описывает требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов и принципы масштабирования	Подробно объясняет основные требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов и принципы масштабирования экспериментальных исследований
	Способен анализировать и проводить экспериментальные исследования с целью изучения химических превращений (У-2)	Корректные выводы по результатам практических работ	Выполняет расчеты по заданным параметрам и описанной методике	Ориентируется в методиках для обработки представленных результатов исследований, рассчитывает погрешность	Способен осуществить выбор методики анализа, выбрать исходные данные и оценить адекватность полученного результата
	Владеет методами определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента; навыком расчетов реакторных устройств в масштабе лабораторной установки, а также в промышленных масштабах для новых и действующих	Корректное выполнение практических работ	Имеет представление о принципах построения кинетических моделей на основе данных о реальном объекте	Имеет навык разработки кинетических моделей на основе данных о реальном объекте	Уверенно владеет навыком построения кинетических моделей на основе данных о реальном объекте

Код и наименование	Показатели сформированности	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
	промышленных объектов. (Н-2)				
<b>ПК-7.2</b> Расчет основных кинетических параметров химических процессов на основании экспериментальных данных	<b>Знает</b> физико-химические основы моделирования химических реакторов; способы повышения эффективности реакторных систем (ЗН-3)	Правильные ответы на вопросы №№11-16 к зачету; правильные ответы на вопросы №№34-62 к экзамену	Перечисляет физико-химические основы моделирования химических реакторов	Объясняет физико-химические основы моделирования химических реакторов, поясняет способы повышения эффективности реакторных систем	Подробно объясняет на примерах физико-химические основы моделирования химических реакторов, поясняет способы повышения эффективности реакторных систем
	<b>Способен</b> составлять кинетические уравнения в дифференциальной и интегральной формах для кинетически простых реакций и прогнозировать влияние температуры на скорость процесса; рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта с точки зрения сбережения материальных и энергетических ресурсов. (У-3)	Корректное выполнение и защита курсовой работы	Имеет понятие о применении методик обработки данных для анализа технологических процессов	Способен применять методики обработки данных для анализа технологических процессов, делать выводы на основе полученных результатов	Способен выбирать и применять методики обработки данных для анализа технологических процессов, представлять самостоятельные инженерные предложения на основе полученных результатов

Код и наименование	Показатели сформированности	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
	<b>Владеет</b> навыком моделирования химических реакторов; методами анализа эффективности работы химических производств; определения технологических показателей процесса (Н-3).	Корректное выполнение и защита курсовой работы	Имеет представление о методах анализа эффективности, может выполнить типовой расчет	Способен пользоваться стандартизованным инструментарием специализированного программного обеспечения, анализирует результаты расчета по модели	Способен свободно пользоваться инструментарием специализированного программного обеспечения для моделирования процессов, самостоятельно разрабатывать простые алгоритмы для обработки данных

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

- шкала оценивания на зачете: «зачет» / «незачет», при оценивании на экзамене и при защите курсовой работы - балльная.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**

#### **3.1. Контрольные вопросы для проведения экзамена**

##### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента**

##### **по компетенции ПК-4:**

1. Уравнение теплового баланса.
2. Тепловые режимы химических реакторов.
3. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах.
4. Реакторы трубчатого типа, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей.
5. Автотермические реакторы с объемным или каталитическим зажиганием сырья.
6. Зависимость скорости тепловыделения от температуры для реактора полного перемешивания.
7. Зависимость скорости теплоотвода для реактора с охлаждением.
8. Уравнение материального баланса для элементарного объема проточного химического реактора.
9. Зависимость гидравлического сопротивления потока для аппаратов неподвижного и псевдооживленного слоя от диаметра зерна и скорости газа.
10. Перемешивание твердой и газообразной фаз в псевдооживленном слое.
11. Способы, приближающие аппараты псевдооживления к аппаратам полного вытеснения.
12. Назначение, области применения и принцип работы реакторов трехфазного кипящего слоя.
13. Влияние степени превращения на соотношение объемов катализатора для псевдооживленного и неподвижного слоев в реакторе.
14. Преимущества применения псевдооживленного слоя в реакторах по сравнению с неподвижным слоем.
15. Недостатки способа псевдооживления.
16. Экспериментальное изучение функции распределения.
17. Функции распределения времени пребывания идеальных и неидеальных проточных реакторов.
18. Применение функций распределения времени пребывания при расчете химических реакторов.
19. Механизмы химических превращений и порядок реакции.
20. Распределение времени пребывания в проточных реакторах.
21. Функция распределения времени пребывания.
22. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме.
23. Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме.
24. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме.
25. Необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов.
26. Особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений.
27. Анализ экспериментальных данных с целью изучения химических превращений.
28. Методы определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента.
29. Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора.
30. Продольное и поперечное перемешивание в реакторах со стационарным слоем катализатора.
31. Градиент температуры поперек потока и его зависимость от эффективного коэффициента теплопроводности слоя катализатора.

32. Зависимость скорости экзотермической реакции от эффективного коэффициента теплопроводности в реакторе неподвижного слоя.
33. Продольная и поперечная диффузия в реакторах с неподвижным слоем.

**б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-7:**

34. Моделирование химических реакторов и протекающих в них химических процессов.
35. Классификация химических реакторов и режимов их работы.
36. Структура математической модели химического реактора
37. Основные типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора.
38. Реактор идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения.
39. Химические реакторы с идеальной структурой потока в изотермическом режиме. Реактор идеального смешения.
40. Каскад реакторов идеального смешения.
41. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.
42. Определение времени реакции в аппаратах полного вытеснения и полного перемешивания.
43. Причины отклонений от идеальности в проточных реакторах.
44. Химические реакторы с неидеальной структурой потоков.
45. Промышленные химические реакторы.
46. Реакторы для гомогенных процессов.
47. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой.
48. Реакторы для газожидкостных процессов.
49. Реакторы для гетерогенных каталитических процессов.
50. Устойчивость работы реактора при наличии случайных возмущений параметров.
51. Определение устойчивости стационарного режима работы реактора.
52. Тепловая устойчивость химических реакторов.
53. Решение систем линейных уравнений методом Гаусса.
54. Решение систем линейных уравнений методом ортогонализации.
55. Решение систем нелинейных уравнений методом простой итерации.
56. Решение систем нелинейных уравнений методом Ньютона - Рафсона.
57. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера, устойчивость, сходимость, точность.
58. Выбор шага по времени для явной разностной схемы, физический смысл критерия устойчивости.
59. Метод наименьших квадратов: предпосылки и реализация.
60. Множественная регрессия, сводный коэффициент корреляции.
61. Проверка значимости регрессионных коэффициентов.
62. Оценка достоверности регрессионной зависимости.

**3.2 Темы устного опроса для проведения зачета**

1. Основные типы конструкций химических реакторов.
2. Виды математических моделей химических реакторов.
3. Классификация химических реакторов и режимов их работы.
4. Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ.
5. Кинетика химических реакций. Определение кинетического уравнения.
6. Механизмы химических превращений и порядок реакции.
7. Особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений.
8. Методы определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента

9. Математические модели идеальных химических реакторов
10. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.
11. Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора. Особенности теплопереноса в псевдоожигенном слое.
12. Перемешивание твёрдой и газообразной фаз. Коэффициент диффузии.
13. Определение времени пребывания сырья в зоне реакции.
14. Химические факторы, влияющие на выбор реактора.
15. Определение устойчивости стационарного режима.
16. Продольное и поперечное перемешивание потока в реакторах с аксиальным и радиальным направлением потока.

### **3.3 Примеры тем для выполнения курсовой работы**

1. Моделирование и оптимизация реакторного блока бензольного риформинга
2. Моделирование и оптимизация реакторного блока риформинга бензина
3. Моделирование и оптимизация реактора каталитического крекинга
4. Реакторы процесса риформинга с движущимся катализатором, разработанным Французским институтом нефти
5. Реактор процесса пиролиза
6. Моделирование и оптимизация реактора процесса гидрокрекинга
7. Реакторы процесса конверсии природного газа

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше в разделе 3.1 и задачу по примеру выполняемым в ходе практических занятий. Время подготовки студента к ответу на вопросы - до 45 мин.

### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТП СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.



