

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета Строительно-технологического факультета Складов К.А.  
«31» августа 2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Химические реакторы»

**Направление подготовки** 18.03.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

**Профиль** Технология неорганических и полимерных композиционных материалов

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2019

Автор программы

  
/Рудаков О.Б./

Заведующий кафедрой  
Химии и химической  
технологии материалов

  
/ Рудаков О.Б./

Руководитель ОПОП

  
/Вострикова Г.Ю./

Воронеж 2019

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

изучение основных закономерностей химических процессов, протекающих в реакционных аппаратах, и основ теории химических реакторов. Формирование у студента знаний и умений, необходимых для выбора и расчета химических реакторов для осуществления химико-технологических процессов.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

- познакомить учащихся с различными видами химических реакторов, формирование у обучающихся методологического подхода к выбору оптимального метода или комплекса теоретических и экспериментальных методов исследования;

- развитие способности делать собственные выводы и заключения на основе данных, полученных с использованием теоретических и экспериментальных методов исследования;

- повышение уровня профессиональной компетентности обучающихся путем их ознакомления с основами исследовательской деятельности.

- овладение основами теории химико-технологических процессов и конструкции современных химических реакторов.

- формирование профессионального выполнения экспериментальных исследований по процессам и аппаратам, освоить математическое моделирование как метод исследования химических процессов и реакторов.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Химические реакторы» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Химические реакторы» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции

ПК-4 - способностью принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения

ПК-5 - способностью использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест

ПК-11 - способностью выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса

ПК-19 - готовностью использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	<p>знать основы теории процесса в химическом реакторе, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем</p> <p>уметь производить расчеты и анализ процессов в химических реакторах, определения технологических показателей.</p> <p>владеть основами теории химико-технологических процессов и конструкции современных химических реакторов; принципами расчета химико-технологических процессов.</p>
ПК-4	<p>знать основы теории переноса импульса, тепла и массы;</p> <p>принципы физического моделирования химико-технологических процессов; основные уравнения движения жидкостей; основы теории теплопередачи; основы теории массопередачи в системах со свободной и неподвижной границей раздела фаз; методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры.</p> <p>Уметь применять методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, проектирования, моделирования, идентификации и оптимизации процессов химической технологии</p> <p>Владеть методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов; методами анализа эффективности работы химических производств.</p>
ПК-5	<p>знать методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии</p> <p>уметь использовать методы оптимизации процессов химической технологии</p> <p>владеть методами выбора химических реакторов и материалов для их изготовления</p>
ПК-11	<p>Знать основы теории процесса в химическом реакторе, методику выбора реактора и расчета процесса в нем;</p>

	основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.
	Уметь рассчитывать основные характеристики химического процесса, оценивать технологическую эффективность производства; произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе
	владеть методами управления и регулирования химико-технологических процессов
ПК-19	знать основные принципы организации химического производства, его иерархической структуры, методы оценки эффективности производства; основные химические производства; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.
	уметь произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе.
	владеть методами расчета и анализа процессов в химических реакторах, определения технологических показателей процесса.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Химические реакторы» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Понятие химических процессов и реакторов	Классификация химико-технологических процессов. Технологические критерии эффективности химико-технологического процесса. Стехиометрия в расчетах химических процессов. Основные технологические показатели, составление материального и теплового баланса. Степень превращения, выход и избирательность в химическом процессе. Понятие лимитирующей стадии. Внешне диффузионная область. Общие закономерности. Процесс на поверхности непористого катализатора. Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химическом процессе.	4	2	6	12
2	Термодинамические и кинетические основы химического процесса.	Термодинамика и кинетика – основные количественные характеристики химического процесса. Константы равновесия химических реакций, тепловые эффекты реакций, зависимости констант равновесия и скорости химических реакций от температуры, значения констант скоростей, продолжительность химических реакций. Термодинамические расчеты химико-технологических процессов. Расчет равновесия по термодинамическим данным. Микро- и макрокинетика протекания	4	2	6	12

		химических процессов. Использование законов химической кинетики при выборе технологического режима и моделировании технологических процессов. Формальная кинетика. Кинетические уравнения. Способы изменения скорости простых и сложных реакций. Стехиометрия, маршруты протекания химических реакций, методы дискриминации маршрутов. Учет влияния диффузионных и тепловых воздействий на кинетику химических реакций.				
3	Гетерогенные процессы	Режимы реакций. Внутренне- диффузионная область. Пористая структура катализаторов, модели их пористой структуры. Выражения скорости реакции. Схема и математическая модель процесса в пористом зерне катализатора. Кинетические уравнения, методы решения.	2	2	6	10
4	Гетерогенно-каталитические процессы.	Химические реакции в зерне катализатора. Гетерогенно-каталитические процессы на пористом зерне катализатора. Макрокинетика. Диффузионное торможение. Химические реакции в слое, в аппарате. Критерии влияния внутренней диффузии. Критерии влияния внешней диффузии. Неоднородность в реакторе. Аксиальная неоднородность. Эффективная глубина проникновения реакции $H$ в гранулы катализатора. Молекулярная диффузия. Молекулярная диффузия в порах. Кнудсеновская диффузия. Переходная область. Внутренняя переходная область.	6	2	6	14

		Внешняя переходная область. Внешняя кинетическая область. Кажущаяся энергия активации гетерогенных реакций.				
5	Химические процессы и реакторы.	Уровни анализа, описания и расчета химических процессов, протекающих в химических реакторах. Структура математической модели химического реактора. Уравнение материального баланса реактора. Процессы в слоях катализатора. Параметры, характеризующие зерно и слой катализатора. Коэффициенты теплопереноса в слое. Параметры математической модели процесса в зернистом слое. Классификация химических реакторов и режимов их работы. Понятия объемная скорость (spacevelocity), условного времени контакта (spacetime), способы их выражения. Химические реакторы с идеальной структурой потока в изотермическом режиме. Реактор идеального смешения (периодический и проточный). Реактор идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения. Химические реакторы с неидеальной структурой потоков. Распределение времени пребывания в проточных реакторах.	6	2	6	14
6	Теплоперенос в химических реакторах.	Основные вопросы, исследуемые на основе математического моделирования. Уравнения баланса массы и энергии.	2	2	6	10

		Стратифицированная модель каталитического реактора.				
7	Основные подходы к решению проблем химической кинетики	Физико-химический, или микроскопический и формально-кинетический, или макроскопический. Элементы макрокинетической модели. Основные этапы построения макрокинетических моделей. Алгоритмы расчета химических реакторов жидкость-жидкость, газ-жидкость, жидкость – (газ) – твердое, газ – жидкость – твердое).	4	2	6	12
8	Промышленные химические реакторы	Общие замечания о расчете химических реакторов. Оптимизация химических процессов и реакторов. Конструктивные элементы химических реакторов. Схемы и конструкции промышленных химических реакторов.	4	2	6	12
9	Особенности расчета каталитических реакторов	Составление ориентировочной таблицы распределения выходов и температур по полкам. Вычисление констант равновесия, определение равновесного выхода и построение равновесной кривой. Расчет оптимальных температур для каждой стадии процесса. Составление материального баланса для реактора в целом и по стадиям катализа. Определение объема газа и его компонентов на входе в реактор, на выходе и на каждой стадии процесса. Определение гидродинамических параметров работы реактора. Определение объема загружаемого катализатора по стадиям процесса (полкам) и по всему реактору. Определение	4	2	6	12

		основ- ных размеров реактора – площади сечения внутреннего диаметра, высоты неподвиж- ного слоя по данным материального баланса, по найденным значениям рабочих скоростей газа, объема катализатора, оптимальных температур. Определение гидравлического сопротивления слоев катализатора и реактора. Составление теплового баланса по полкам реактора					
			Итого	36	18	54	108

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 5.2 Перечень тем практических работ

**Занятие 1.** Стехиометрия в расчетах химических процессов. Основные технологические показатели, составление материального и теплового баланса. Решение задач.

**Занятие 2.** Термодинамика в расчетах химических процессов. Константа равновесия химического процесса, ее зависимость от температуры. Расчет равновесного состава реагирующей смеси в сложных и простых реакциях. Решение задач.

**Занятие 3.** Расчет равновесного состава реагирующей смеси в сложных и простых реакциях с использованием компьютерной программы «Химическое равновесие в многокомпонентной смеси». Выбор оптимальных условий проведения исследуемого химического процесса. Индивидуальная практическая работа.

**Занятие 4.** Кинетика в расчете химических процессов. Математическое моделирование сложных химических реакций. Расчетные формулы, решение задач Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химических реакторах. Теплообмен в химических реакторах.

**Занятие 5.** Гетерогенные процессы. Расчетные формулы процессов «сжимающаяся сфера» и «невзаимодействующее ядро». Гетерогенно-каталитические процессы на пористом зерне катализатора. Основные расчетные приемы.

**Занятие 6.** Режимы реакций. Экспериментальные методы. Теоретические критерии. Критерии влияния внутренней диффузии. Критерии влияния внешней диффузии. Неоднородность в реакторе. Аксиальная неоднородность. Эффективная диффузия. Молекулярная диффузия. Молекулярная диффузия в

порах. Кнудсеновская диффузия. Переходная область. Рекомендуемые процедуры. Примеры использования теоретических критериев.

**Занятия 7.** Гетерогенно-каталитические процессы на пористом зерне катализатора. Индивидуальная расчетно-графическая работа студентов с использованием компьютерных программ «Расчет параметры переноса в зернистом слое» и «Пористое зерно катализатора»

**Занятия 8.** Реакторы в режимах идеального смешения и вытеснения. Основные расчетные формулы для определения технологических параметров. Решение задач. Индивидуальная практическая работа студентов с использованием компьютерной программы «Реакторы в режимах идеального смешения и вытеснения».

**Занятия 9.** Моделирование каталитического реактора для химического процесса. Выбор оптимального вида реактора и оптимальных технологических параметров.

## **6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
ПК-1	знать основы теории процесса в химическом реакторе, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь производить расчеты и анализ процессов в химических реакторах, определения	Решение стандартных практических задач,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих

	технологических показателей.	написание курсового проекта		программах
	владеть основами теории химико-технологических процессов и конструкции современных химических реакторов; принципами расчета химико-технологических процессов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-4	знать основы теории переноса импульса, тепла и массы; принципы физического моделирования химико-технологических процессов; основные уравнения движения жидкостей; основы теории теплопередачи; основы теории массопередачи в системах со свободной и неподвижной границей раздела фаз; методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, проектирования, моделирования, идентификации и оптимизации процессов химической технологии	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть <input type="checkbox"/> методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов; методами анализа эффективности работы химических производств.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	знать методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии	вопросы при защите курсового проекта		
	уметь использовать методы оптимизации процессов химической технологии	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами выбора химических реакторов и материалов для их изготовления	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-11	знать основы теории процесса в химическом реакторе, методику выбора реактора и расчета процесса в нем; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать основные характеристики химического процесса, оценивать технологическую эффективность производства; произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами управления и регулирования химико-технологических процессов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ПК-19	знать основные принципы организации химического производства, его иерархической структуры, методы оценки эффективности производства; основные химические процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.	у Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе.	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами расчета и анализа процессов в химических реакторах, определения технологических показателей процесса.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать основы теории процесса в химическом реакторе, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь производить расчеты и анализ процессов в химических реакторах, определения технологических показателей.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть основами теории химико-технологических процессов и конструкции современных химических реакторов; принципами расчета химико-технологических процессов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-4	знать основы теории переноса импульса, тепла и массы; принципы физического моделирования химико-технологических процессов; основные уравнения движения жидкостей; основы теории теплопередачи; основы теории массопередачи в системах со свободной и неподвижной границей раздела фаз; методы расчета тепло- и массообменной аппаратуры.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, проектирования, моделирования, идентификации и оптимизации процессов химической технологии	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов; методами анализа эффективности работы химических производств.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	знать методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, методику выбора реактора и расчета процесса в нем; основные реакционные процессы и реакторы химической и	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	нефтехимической технологии			
	уметь использовать методы оптимизации процессов химической технологии	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами выбора химических реакторов и материалов для их изготовления	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-11	знать основы теории процесса в химическом реакторе, методику выбора реактора и расчета процесса в нем; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь рассчитывать основные характеристики химического процесса, оценивать технологическую эффективность производства; произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами управления и регулирования химико-технологических процессов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-19	знать основные принципы организации химического производства, его иерархической структуры, методы оценки эффективности производства; основные химические производства; основные реакционные процессы и реакторы химической и нефтехимической технологии.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь произвести выбор типа реактора и произвести расчет технологических параметров для заданного процесса; определить	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены



$$\text{а) } X_A = \frac{N_A}{N_{Ao}} ; \quad \text{б) } X_A = \frac{N_{Ao} - N_A}{N_{Ao}} ; \quad \text{в) } X_A = \frac{N_{Ao}}{N_{Ao} - N_A} ; \quad \text{г) } X_A = \frac{N_{Ao}}{N_A} ;$$

2. Выход продукта рассчитывается по уравнению:

$$\text{а) } \eta_R = \frac{N_{R \max} - N_R}{N_{R \max}} ; \quad \text{б) } \eta_R = \frac{N_{R \max}}{N_{R \max} - N_R} ; \quad \text{в) } \eta_R = \frac{N_R}{N_{R \max}} ; \quad \text{г) } \eta_R = \frac{N_{R \max}}{N_R} ;$$

3. Что обозначает технологический показатель  $\varphi_R$ :

- а) количество полученного продукта R;
- б) выход продукта R;
- в) долю прореагировавшего сырья;
- г) селективность переработки реагента А в продукт R.

4. Что означает понятие «дифференциальная селективность»?

- а) Долю от переработанного сырья, пошедшего на получение целевого продукта при проведении сложных реакций;
- б) Отношение скоростей прямой и обратной реакций при проведении простой обратимой реакции;
- в) Отношение скорости переработки реагента А по одной из реакций к общей скорости его переработки по всем одновременно идущим реакциям;
- г) Отношение скорости переработки реагента А к скорости образования целевого продукта.

5. Что в технологических критериях эффективности ХТС характеризует понятие интегральная селективность?

- а) Долю переработанного сырья при проведении простой необратимой реакции;
- б) Долю переработанного сырья при проведении простой обратимой реакции;
- в) Суммарную долю переработанного сырья при проведении сложных параллельных реакций;
- г) Долю от переработанного сырья, пошедшего на получение целевого продукта при проведении сложных реакций;

6. Интегральная селективность процесса рассчитывается по уравнению:

$$\text{а) } \varphi_R = \frac{\Delta N_{A \rightarrow R}}{\Delta N_A} ; \quad \text{б) } \varphi_R = \frac{N_A}{\Delta N_A} ; \quad \text{в) } \varphi_R = \frac{\Delta N_A}{N_{Ao}} ; \quad \text{г) } \varphi_R = \frac{\Delta N_A}{\Delta N_{A \rightarrow \hat{E}}} ;$$

7. Какое уравнение описывает связь между технологическими критериями для необратимых сложных реакций?

$$\text{а) } \eta_R = \frac{X_A}{X_{Ap}} ; \quad \text{б) } \eta_R = X_A ; \quad \text{в) } \eta_R = \varphi_R X_A ; \quad \text{г) } \eta_R = \varphi_R \frac{X_A}{X_{Ap}} ;$$

8. Какое уравнение описывает связь между технологическими критериями для обратимых сложных реакций?

$$\text{а) } \eta_R = \frac{X_A}{X_{Ap}} ; \quad \text{б) } \eta_R = X_A ; \quad \text{в) } \eta_R = \varphi_R X_A ; \quad \text{г) } \eta_R = \varphi_R \frac{X_A}{X_{Ap}} ;$$

9. Какое уравнение описывает связь между технологическими критериями для необратимых простых реакций?

а)  $\eta_R = \frac{X_A}{X_{Ap}}$ ;      б)  $\eta_R = X_A$ ;      в)  $\eta_R = \varphi_R X_A$ ;      г)  $\eta_R = \varphi_R \frac{X_A}{X_{Ap}}$ ;

10. Какое уравнение описывает связь между технологическими критериями для обратимых простых реакций?

а)  $\eta_R = \frac{X_A}{X_{Ap}}$ ;      б)  $\eta_R = X_A$ ;      в)  $\eta_R = \varphi_R X_A$ ;      г)  $\eta_R = \varphi_R \frac{X_A}{X_{Ap}}$ ;

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Математическое выражение скорости гомогенного процесса имеет вид:

а)  $W_j = \pm \frac{dN_j}{d\tau} \frac{1}{S} \frac{1}{j}$       б)  $W_j = \pm \frac{dN_j}{d\tau} \frac{1}{V} \frac{1}{j}$   
 в)  $W_j = \pm \frac{dC_j}{d\tau} \frac{1}{S} \frac{1}{j}$       г)  $W_j = \pm \frac{dC_j}{d\tau} \frac{1}{V} \frac{1}{j}$

2. Уравнение скорости реакции второго порядка типа  $2A_{\Gamma} \rightarrow D_{\Gamma} + C_{\Gamma}$  имеет вид:

а)  $W_A = k C_A C_B$       б)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A)$   
 в)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A)$       г)  $W_A = k \frac{C_{Ao} (1 - X_A)}{(1 + \varepsilon_A X_A)}$   
 д)  $W_A = k_o e^{-E/RT} \frac{C_{Ao}^2 (1 - X_A)^2}{(1 + \varepsilon_A X_A)^2}$       е)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) C_{Bo} - C_{Ao} X_A$

3. Уравнение скорости реакции первого порядка типа  $A_{\Gamma} \rightarrow D_{\Gamma} + C_{\Gamma}$  имеет вид:

а)  $W_A = k C_A C_B$       б)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A)$   
 в)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A)$       г)  $W_A = k_o e^{-E/RT} \frac{C_{Ao} (1 - X_A)}{(1 + \varepsilon_A X_A)}$   
 д)  $W_A = k_o e^{-E/RT} \frac{C_{Ao}^2 (1 - X_A)^2}{(1 + \varepsilon_A X_A)^2}$       е)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) C_{Bo} - C_{Ao} X_A$

4. Уравнение скорости реакции второго порядка типа  $A_{\Gamma} + B_{\Gamma} \rightarrow D_{\Gamma}$  имеет вид:

а)  $W_A = k_1 C_A C_B - k_2 C_R$   
 б)  $W_A = k_{1o} e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A) - k_{2o} C_R$   
 в)  $W_A = k_1 \frac{C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A)}{(1 + \varepsilon_A X_A)^2} - k_2 \frac{C_{Ao} X_A}{1 + \varepsilon_A X_A}$   
 г)  $W_A = k \frac{C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A)}{(1 + \varepsilon_A X_A)^2}$       д)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) C_{Bo} - C_{Ao} X_A$

5. Уравнение скорости реакции первого порядка типа  $A_{\mathcal{Ж}} \rightarrow D_{\mathcal{Ж}} + C_{\mathcal{Ж}}$  имеет вид:

а)  $W_A = k C_A C_B$       б)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A)$   
 в)  $W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1 - X_A) (C_{Bo} - C_{Ao} X_A)$       г)  $W_A = k \frac{C_{Ao} (1 - X_A)}{(1 + \varepsilon_A X_A)}$

$$\text{д) } W_A = k_o e^{-E/RT} \frac{C_{Ao}(1-X_A)^2}{(1+\varepsilon_A X_A)^2} \quad \text{е) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao}^2 (1-X_A)^2$$

6. Уравнение скорости реакции второго порядка типа  $2A_{ж} \rightarrow D_{ж} + C_{ж}$  имеет вид:

$$\text{а) } W_A = k C_A C_B \quad \text{б) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1-X_A)$$

$$\text{в) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1-X_A)(C_{Bo} - C_{Ao} X_A) \quad \text{г) } W_A = k \frac{C_{Ao}(1-X_A)}{(1+\varepsilon_A X_A)}$$

$$\text{д) } W_A = k_o e^{-E/RT} \frac{C_{Ao}(1-X_A)^2}{(1+\varepsilon_A X_A)^2} \quad \text{е) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao}^2 (1-X_A)^2$$

7. Уравнение скорости реакции типа  $A_{ж} + B_{ж} + \text{Кат}_{(ж)} \rightarrow R_{ж}$  имеет вид:

$$\text{а) } W_A = k_1 C_A C_B - k_2 C_R$$

$$\text{б) } W_A = k_{1o} e^{-E/RT} C_{Ao} (1-X_A)(C_{Bo} - C_{Ao} X_A) - k_{2o} C_R$$

$$\text{в) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1-X_A)(C_{Bo} - C_{Ao} X_A)$$

$$\text{г) } W_A = k_o e^{-E/RT} C_{Ao} (1-X_A)(C_{Bo} - C_{Ao} X_A) C_{кат}$$

8. Скорость гомогенного процесса, протекающего в жидкой фазе, можно увеличить, если:

а) уменьшить температуру, б) увеличить давление, в) уменьшить давление, г) увеличить температуру.

9. Уравнение изобары Вант-Гоффа имеет вид:

$$\text{а) } \frac{d \ln X_{Аааа}}{dT} = \frac{Q}{RT^2} \quad \text{б) } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT};$$

$$\text{в) } \frac{d \ln K_p}{dP} = \frac{\Delta \nu}{RT^2} \quad \text{г) } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad \text{д) } \Delta G = -RT \ln K_p$$

10. Уравнение показывающее влияние давления на константу равновесия имеет вид::

$$\text{а) } \frac{d \ln X_{Аааа}}{dT} = \frac{Q}{RT^2} \quad \text{б) } \frac{d \ln K_p}{dP} = \frac{\Delta H}{RT};$$

$$\text{в) } \frac{d \ln K_p}{dP} = -\frac{\Delta \nu}{RT} \quad \text{г) } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad \text{д) } \Delta G = -RT \ln K_p$$

11. Уравнение изобары Вант-Гоффа дает зависимость между:

а) P и T; б)  $X_{A \text{ равн.}}$  и P; в)  $\Delta H$  и T; г)  $K_p$  и T; д)  $\Delta G$  и  $K_p$

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Что такое химический реактор и для чего он предусмотрен?
2. Нарисуйте схему нескольких типов реакторов. Покажите на одном из них структурные элементы реактора.
3. Что такое моделирование и модель процесса? Их назначение.
4. Чем различаются физическое и математическое моделирование? Почему для исследования химических процессов и реакторов надо использовать математическое моделирование?
5. Что такое гомогенный и гетерогенный химические процессы?
6. Как зависит скорость необратимой реакции от концентрации и степени

превращения (уравнение, график)?

7. Как зависит скорость необратимой реакции от температуры (уравнение, график)?

8. Как зависит скорость обратимой реакции от степени превращения (уравнение, график)?

9. Какие гетерогенные процессы вы знаете?

10. В чем заключается многостадийность гетерогенного процесса?

11. Чем отличаются условия гетерогенного процесса и от чего она зависит? сопоставьте со скоростью химической реакции.

12. Что такое лимитирующая стадия в гетерогенном процессе? Как данная стадия определяет режим гетерогенного процесса?

13. Что такое катализ и катализатор? В чем состоит механизм действия катализатора?

14. Как влияет катализатор на равновесие в химической реакции? Объясните.

15. Объясните роль катализатора в химическом процессе. Приведите пример промышленных каталитических процессов.

16. Нарисуйте схему протекания гетерогенно-каталитического процесса и перечислите его основные стадии.

17. Расскажите о различных способах организации теплообмена в химическом реакторе.

18. Какие тепловые режимы процесса могут существовать в реакторе? Приведите примеры.

19. Составьте ориентировочную таблицу распределения выходов и температур по полкам.

20. Вычислите константы равновесия, определения равновесного выхода и построения равновесной кривой.

21. Составьте материальный баланс для реактора в целом и по стадиям катализа. Составьте тепловой баланс по полкам реактора.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 10.*

*Незачет ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.*

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Понятие химических процессов и реакторов	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата,

			требования к курсовому проекту
2	Термодинамические и кинетические основы химического процесса.	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
3	Гетерогенные процессы	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
4	Гетерогенно-каталитические процессы.	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
5	Химические процессы и реакторы.	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
6	Теплоперенос в химических реакторах.	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
7	Основные подходы к решению проблем химической кинетики	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
8	Промышленные химические реакторы	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту
9	Особенности расчета каталитических реакторов	ПК-1, ПК-4, ПК-5, ПК-11, ПК-19	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту

			проекту
--	--	--	---------

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется результат (зачет), согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Закгейм, А. Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов: Учебное пособие / Закгейм А. Ю. - Москва: Логос, 2012. - 304 с. - ISBN 978-5-98704-497-1.

2. Решетняк, Е. П. Синтез дискретной адаптивной системы управления биохимическим реактором с оцениванием сигналов модального управления: учебное пособие / Решетняк Е. П. - Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Вузовское образование, 2012. - 13 с.

3. Бочкарев, В. В. Оптимизация химико-технологических процессов: Учебное пособие / Бочкарев В. В. - Томск: Томский политехнический университет, 2014. - 264 с. - ISBN 978-5-4387-0420-1.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

URL: <http://www.iprbookshop.ru/9103>

URL: <http://www.iprbookshop.ru/34690>

URL: <http://www.iprbookshop.ru/8164>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. *Лаборатория химии нефтепродуктов и органических материалов а. 6424*  
Оборудование: вытяжной шкаф ВА0000002694, химическая посуда 1632157, шкаф сушильный ВА0000002726, рН-метр-иономер «Эксперт-001-3.0,1» 0101040825, штатив лабораторный ВА0000002727, электроплита 1632417

2. *Лаборатория химии воды и гравиметрических методов анализа, а. 6421*  
Оборудование: шкаф вытяжной мод. 1 (1235 x 710 x 2150 мм) пов. керамогранит + мойка + смесит. + вентилятор 0101044379, химическая посуда

1632157, учебно-лабораторный комплекс «Химия» в составе 0101040548, фотометр фотоэлектрический КФК-3 0001332685, полилюкс ВА0000002707, штатив лабораторный ВА0000002727, иономер лабораторный И-160 0001332688, экран на штативе 0001381776

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Химические реакторы» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета необходимых для выбора и расчета химических реакторов для осуществления химико-технологических процессов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Для преподавания и изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии.

1. Дидактически обоснованная структура дисциплины «Химические реакторы». Содержательная часть дисциплины должна быть обоснована с точки зрения химии и требований к результатам освоения ООП бакалавриата, выраженных в виде определённых компетенций.

2. Точное следование рабочей программе дисциплины.

На вводной лекции студенты знакомятся со структурой плана дисциплины «Химические реакторы», получают разъяснение о роли каждой составляющей в учебном процессе, а также где и как получить доступ ко всем составляющим учебно-методического обеспечения.

3. Планирование времени и методическое обеспечение внеаудиторной самостоятельной работы (ВСР).

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.

Самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>