

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

**Дзержинский политехнический институт (филиал)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

\_\_\_\_\_ А. М. Петровский

“\_05\_” \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ОД.9 Теоретические основы катализа органических реакций**

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 18.03.01 Химическая технология

Направленность: Химическая технология органических веществ

Форма обучения: очная, заочная

Год начала подготовки 2022

Выпускающая кафедра      Химические и пищевые технологии

Кафедра-разработчик      Химические и пищевые технологии

Объем дисциплины      180/5  
   часов/з.е

Промежуточная аттестация      экзамен

Разработчик: к.х.н. доцент А.Л. Есипович

Дзержинск  
2022

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07 августа 2020 года № 922 на основании учебного плана, принятого УС ДПИ НГТУ

протокол от 28.04.2022 № 8

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры-разработчика РПД Химические и пищевые технологии

протокол от 05.05.2022 № 10

Зав. кафедрой д.х.н. профессор \_\_\_\_\_ О. А. Казанцев  
(подпись)

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой Химические и пищевые технологии  
д.х.н. профессор \_\_\_\_\_ О. А. Казанцев  
(подпись)

Начальник ОУМБО \_\_\_\_\_ И. В. Старикова  
(подпись)

Рабочая программа зарегистрирована в ОУМБО: № 18.03.01- 39

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи освоения дисциплины .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) .....	5
4. Структура и содержание дисциплины.....	8
5. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.....	14
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	18
7. Информационное обеспечение дисциплины.....	18
8. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ.....	19
9. Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	20
10. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины.....	21
11. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины.....	23

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цель освоения дисциплины:

Целью освоения дисциплины является изучение теоретических основ явления катализа и применения катализа для стимулирования органических реакций.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- применение теоретических основ катализа при расчетах и проектировании процессов химической технологии;
- знание каталитического оборудования химических технологий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Теоретические основы катализа органических реакций» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Математика», «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа», «Углеводородная сырьевая база промышленной переработки».

Дисциплина «Теоретические основы катализа органических реакций» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Химия и технология основного органического синтеза», «Теория химико-технологических процессов органического синтеза и нефтепереработки», «Общая химическая технология», «Проектирование оборудования органического синтеза и нефтепереработки», «Химия и технология тонкого органического синтеза», «Научные основы и технологии «зеленой» химии», «Технология получения виниловых мономеров», «Разработка промышленных реакторов органического синтеза и нефтепереработки», «Моделирование химико-технологических процессов».

Рабочая программа дисциплины «Теоретические основы катализа органических реакций» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся, по их личному заявлению.

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### Формирование компетенций ПК-2, ПК-3 дисциплинами

Компетенция	Названия учебных дисциплин, модулей, практик, участвующих в формировании компетенции вместе с данной дисциплиной	Семестры формирования компетенции							
		1 курс		2 курс		3 курс		4 курс	
		семестр		семестр		семестр		семестр	
		1	2	3	4	5	6	7	8
ПК-2	Теория химико-технологических процессов органического синтеза и нефтепереработки					X			
	Углеродородная сырьевая база для промышленной переработки				X				
	Разработка процессов разделения в химической технологии						X		
	Химия и технология основного органического синтеза					X	X		
	Проектирование оборудования органического синтеза и нефтепереработки							X	
	Теоретические основы катализа органических реакций					X			
	Химия и технология тонкого органического синтеза							X	
	Научные основы и технологии «зеленой химии»								X
	Современные методы исследования органических веществ					X			
	Теоретические основы процессов полимеризации							X	
	Химическое сопротивление и защита						X		
	Технологии производства и переработки полимеров								X
	Технология получения виниловых мономеров								X
	Технологии связанного азота						X		
	Ознакомительная практика				X				

	Технологическая (проектно-технологическая) практика						X		
	Преддипломная практика								X
	Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								X
ПК-3	Организация, планирование и							X	
	Разработка промышленных реакторов органического синтеза и нефтепереработки						X		
	Углеводородная сырьевая база для промышленной переработки				X				
	Теория химико–технологических процессов органического синтеза и нефтепереработки					X			
	Химия и технология основного органического синтеза					X	X		
	Проектирование оборудования органического синтеза и нефтепереработки							X	
	Теоретические основы катализа органических реакций					X			
	Научные основы и технологии «зеленой химии»								X
	Технологии производства и переработки полимеров								X
	Технология получения виниловых мономеров								X
	Технологическое оборудование химических и нефтехимических					X			
	Технология связанного азота							X	
	Ознакомительная практика				X				
	Технологическая (проектно – технологическая) практика							X	
Преддипломная практика								X	
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								X	

ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП

Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
<b>ПК-2.</b> Способен использовать знание свойств органических веществ и технологий производства органических веществ для решения задач профессиональной деятельности	<b>ИПК-2-2.</b> Знает свойства основных и вспомогательных веществ и материалов, используемых при производстве	<b>Знать:</b> теоретические основы катализа органических реакций	<b>Уметь:</b> применять методы и законы катализа для решения задач профессиональной деятельности	<b>Владеть:</b> методами и законами катализа для решения задач профессиональной деятельности.	Вопросы для письменного опроса (60 тестовых заданий) и отчеты при сдаче лабораторных работ	Вопросы для устного собеседования: 30 вопросов и 11 заданий
<b>ПК-3.</b> Способен осуществлять технологическое и организационно-управленческое сопровождение полного цикла производства органических веществ	<b>ИПК-3-2.</b> Изменяет технологический режим объектов по результатам лабораторных анализов и анализа моделей	<b>Знать:</b> основы представлений о каталитических процессах, причины каталитического ускорения химических реакций и особенности гетерогенно-каталитических процессов	<b>Уметь:</b> формировать кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса исходя из его стадийного механизма и области протекания	<b>Владеть:</b> основами анализа факторов, влияющих на протекание гетерогенно-каталитического процесса	Вопросы для письменного опроса (60 тестовых заданий) и отчеты при сдаче лабораторных работ	Вопросы для устного собеседования: 30 вопросов и 11 заданий

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач.ед. / 144 часов, распределение часов по видам работ семестрам представлено в таблицах 3 и 4.

Формат изучения дисциплины: с использованием элементов электронного обучения.

Таблица 3 - Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

##### Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		5
<b>1. Контактная работа обучающихся с преподавателем</b> (по видам учебных занятий) (всего), в том числе:	74	74
<b>1.1. Аудиторные занятия (всего), в том числе:</b>	68	68
- лекции (Л)	34	34
- лабораторные работы (ЛР)	34	34
- практические занятия (ПЗ)	-	-
- практикумы (П)	-	-
<b>1.2. Внеаудиторные занятия (всего), в том числе:</b>	6	6
- групповые консультации по дисциплине	4	4
- групповые консультации по промежуточной аттестации (экзамен)	2	2
- индивидуальная работа преподавателя с обучающимся:		
- по проектированию: проект (работа)		
- по выполнению РГР		
- по выполнению КР		
- по составлению реферата (доклада, эссе)		
<b>2. Самостоятельная работа студента (СРС) (всего)</b>	25	25
<b>Вид промежуточной аттестации экзамен</b>	45	45
<b>Общая трудоёмкость, часы/зачетные единицы</b>	144/4	144/4



Таблица 4 - Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Для студентов заочной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Курс
		3
<b>1. Контактная работа обучающихся с преподавателем</b> (по видам учебных занятий) <b>(всего)</b> , в том числе:	23	23
<b>1.1. Аудиторные занятия (всего)</b> , в том числе:		
- лекции (Л)	8	8
- лабораторные работы (ЛР)	8	8
- практические занятия (ПЗ)	-	-
- практикумы (П)	-	-
<b>1.2. Внеаудиторные занятия (всего)</b> , в том числе:	7	7
- групповые консультации по дисциплине	4	4
- групповые консультации по промежуточной аттестации (экзамен)	2	2
- индивидуальная работа преподавателя с обучающимся:		
- по проектированию: проект (работа)		
- по выполнению РГР		
- по выполнению КР	1	1
- по составлению реферата, доклада, эссе		
<b>2. Самостоятельная работа студента (СРС) (всего)</b>	112	112
<b>Вид промежуточной аттестации экзамен</b>	9	9
<b>Общая трудоёмкость, часы/зачетные единицы</b>	144/4	144/4

#### 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Содержание дисциплины, структурированное по темам, приведено в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 - Содержание дисциплины, структурированное по темам, для студентов очной формы обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: кодУК;ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа							
		Лекции, час	Лабораторные Работы, час	Практические занятия	Самостоятельная работа обучающихся (СРС), час				
<b>5 семестр</b>									
ПК-2, ИПК-2-2 ПК-3, ИПК-3-2	<b>Тема 1.1</b> Введение: физические методы стимулирования химических процессов	2	-	-	2	Подготовка к лекциям, собеседованиям, тестированию. 6.1.1: С. 4-10, 11-52	Тестирование, собеседование		
	<b>Тема 2.1</b> Основы гетерогенного катализа	12	-	-	2				
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического состава катализаторов	-	4	-	2	Подготовка отчета о лабораторной работе, подготовка к собеседованию при сдаче лабораторной работы 6.2.1	Собеседование		
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 2. Определение насыпной и истинной плотности катализаторов	-	4	-	2				
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 3. Определение удельной поверхности катализаторов	-	4	-	2	Подготовка отчета о лабораторной работе, подготовка к собеседованию при сдаче лабораторной работы 6.2.1	Собеседование		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа обучающихся (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные Работы, час	Практические занятия					
	<b>Тема 3.1</b> Новые варианты катализа	2	-	-	2	Подготовка к лекциям, собеседованиям, тестированию, выполнение заданий для самостоятельной работы. 6.1.1: С. 53-65, 66-71, 72-87	Тестирование, собеседование		
	<b>Тема 4.1</b> Промышленные каталитические реакторы	2	-	-	2				
	<b>Тема 5.1</b> Примеры гетерогенно-каталитических процессов	6	-	-	2				
	<b>Тема 5.1</b> Лабораторная работа № 4. Каталитический риформинг	-	10	-	2	Подготовка отчета о лабораторной работе, подготовка к собеседованию при сдаче лабораторной работы. 6.1.1: С.77-82, 6.2.1: С.	Собеседование		
	<b>Тема 5.1</b> Лабораторная работа № 5. Каталитическое окисление изопропилового спирта в ацетон	-	12	-	2	Подготовка отчета о лабораторной работе, подготовка к собеседованию при сдаче лабораторной работы. 6.2.1	Собеседование		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа обучающихся (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные Работы, час	Практические занятия					
	Тема 6.1 Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов	10	-	-	5	Подготовка к лекциям, собеседованиям, тестированию, выполнение заданий для самостоятельной работы. 6.1.1: С. 88-109, 110-124	Тестирование, собеседование		
	Самостоятельная работа	-	-	-	25				
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>25</b>				

Таблица 6 - Содержание дисциплины, структурированное по темам, для студентов заочной формы обучения

Планируемые (контролируемые)		Виды учебной работы			Наименование используемых	Реализация в рамках	Наименование разработан-
		Контактная работа	С а м				

результаты освоения: кодУК;ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование тем	Лекции, час	Лабораторные Работы, час	Практические занятия	остоятельная работа обучающихся (СРС), час	Вид СРС	активных и интерактивных образовательных технологий	практической подготовки (трудоемкость в часах)	ного электронного курса (трудоемкость в часах)
<b>3 курс</b>									
ПК-2, ИПК-2-2 ПК-3, ИПК-3-2	<b>Тема 1.1</b> Введение: физические методы стимулирования химических процессов	1	-	-	10	Подготовка к лекциям, собеседованиям, тестированию, выполнение заданий для самостоятельной работы. 6.1.1: С. 4-10, 11-52, 53-65, 66-71, 72-87	Тестирование, собеседование*		
	<b>Тема 2.1</b> Основы гетерогенного катализа	1	-		42				
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического состава катализаторов		2						
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 2. Определение насыпной и истинной плотности катализаторов		2						
	<b>Тема 2.1</b> Лабораторная работа № 3. Определение удельной поверхности катализаторов		2						
	<b>Тема 3.1</b> Новые варианты катализа	1	-	-	10				
	<b>Тема 4.1</b> Промышленные каталитические реакторы	1	-	-	10				
<b>Тема 5.1</b> Примеры гетерогенно-каталитических процессов	2	-	-	30					
<b>Тема 5.1</b> Лабораторная работа № 4. Каталитический риформинг		2							
<b>Тема 6.1</b> Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов	2	-	-	10	Подготовка к лекциям, собеседованиям,	Тестирование*, собеседование			

						тестированию, выполнение заданий для самостоятельной работы. 6.1.1: С. 88- 109, 110-124			
	<b>Самостоятельная работа</b>	-	-	-	112				
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	-	<b>112</b>				

\*-тестирование однократно по всем темам курс

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

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

*Образцы тестовых заданий для текущей и промежуточной аттестации на лекциях и экзамене*

#### ТЗ 1 (закрытое)

Задание: Катализ это -

Варианты ответа:

**А** - явление селективного ускорения химических реакций веществом (катализатором), который многократно вступает в промежуточные химические реакции, но регенерируется к моменту образования конечных продуктов. Катализатор не расходуется в ходе целевой реакции, но может расходоваться по побочным превращениям.

**Б** - явление селективного замедления химических реакций веществом (катализатором), который многократно вступает в промежуточные химические реакции, но регенерируется к моменту образования конечных продуктов. Катализатор не расходуется в ходе целевой реакции, но может расходоваться по побочным превращениям.

**В** - явление селективного ускорения химических реакций веществом (катализатором), который многократно вступает в промежуточные химические реакции и расходуется в ходе целевой и побочных реакций.

#### ТЗ 2 (закрытое)

Задание: Регенерация катализатора по ходу процесса происходит в течение следующего времени от начала каталитического цикла:

**А** - нескольких часов;

**Б** - нескольких минут;

**В** - нескольких секунд;

**Г** - практически мгновенно.

#### ТЗ 3 (закрытое)

Задание: Кинетическое уравнение газофазного гетерогенно-каталитического процесса, протекающего по схеме  $A \rightarrow B$  с константой скорости  $k$ , может быть следующим:

**А** -  $W = k \cdot P_A$ ;

**Б** -  $W = k \cdot b_A \cdot P_A$ ;

**В** -  $W = k$ ;

**Г** -  $W = k \cdot P_A \cdot P_B$ ;

**Д** -  $W = k \cdot P_A + k \cdot P_B$ ;

**Е** -  $W = k \cdot P_A - k \cdot P_B$ ;

**Ж** -  $W = (D/\delta) \cdot S \cdot P_A$ ;

**З** -  $W = v \cdot S \cdot (D \cdot k)^{1/2} \cdot P_A^{(n+1)/2}$ ;

**И** -  $W = k \cdot b_A \cdot P_A / (1 + b_A \cdot P_A + b_B \cdot P_B)$ ;

**К** -  $W = k \cdot b_A \cdot P_A / (1 + b_A \cdot P_A + b_B \cdot P_B)^2$ .

*Вопросы для собеседования при сдаче отчетов по лабораторным работам (пример).*

### Лабораторная работа «Каталитический риформинг»

1. Определение каталитического риформинга.
2. Условия проведения процесса.
3. Катализатор риформинга.
4. Целевые реакции каталитического риформинга.
5. Побочные реакции, протекающие при каталитическом риформинге.
6. Сырье каталитического риформинга.
7. Целевые продукты каталитического риформинга.
8. Стадии технологической схемы каталитического риформинга.
9. Реакторы для проведения каталитического риформинга.
10. Принципиальные технологические схемы каталитического риформинга.
11. Производительность промышленных установок каталитического риформинга.

#### ***Пример задания для самостоятельной работы обучающихся очной формы***

1. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B$ . Поверхность катализатора считать однородной.
2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внешне-диффузионной области в кинетическую.

#### ***Пример задания для контрольной работы для обучающихся заочной формы обучения***

1. Привести кинетическое уравнение гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B + C$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.
2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из кинетической области во внешне-диффузионную.

#### ***Перечень вопросов к экзамену по дисциплине Б1.В.ОД.10 «Теоретические основы катализа органических реакций»***

1. Стимулирование химических процессов под влиянием температуры, высоких давлений, под действием электролиза, ионизирующего, ультрафиолетового, сверхвысокочастотного излучений.
2. Понятия катализ, катализатор активный центр катализатора, каталитический цикл, активность катализатора и селективность каталитического процесса.
3. Классификация катализаторов и каталитических реакций.
4. Понятия промотор, каталитический яд, модификатор, носитель.
5. Определения специфического кислотного и основного катализа, общего кислотного и основного катализа, электрофильного и нуклеофильного катализа.
6. Общая макростадийная схема гетерогенно-каталитических процессов.
7. Явление адсорбции, виды адсорбции, критерии физической и химической адсорбции.
8. Поведение частиц на поверхности твердых тел. Поверхностная диффузия, адсорбционные формы, сопутствующие физические процессы. Модели адсорбции.
9. Равновесие адсорбционных процессов. Изотермы адсорбции на однородных и неоднородных поверхностях.
10. Функции катализаторов в химических процессах и причины каталитического ускорения.



11. Взаимодействие катализатора и реакционной среды. Изменение основных целевых свойств гетерогенных катализаторов под действием реакционной среды. Регенерация катализаторов.
12. Основные промышленные методы приготовления гетерогенных катализаторов.
13. Форма и размер гранул катализаторов.
14. Методы исследования гетерогенных катализаторов.
15. Состояние проблемы прогнозирования каталитического действия веществ.
16. Основные направления в развитии катализа.
17. Катализ атомарными переходными металлами.
18. Промышленные каталитические реакторы.
19. Реакторы с теплообменом через стенку и адиабатические реакторы, их сравнительная характеристика.
20. Реакторы с неподвижным и движущимся слоем катализатора, их сравнительная характеристика.
21. Исходные данные и цели расчета реакторов для проведения гетерогенно-каталитических процессов.
22. Каталитический крекинг. Физико-химические основы процесса. Сырье и целевые продукты. Схемы промышленных установок.
23. Каталитический риформинг. Физико-химические основы процесса. Сырье и целевые продукты. Схемы промышленных установок.
24. Получение винилхлорида каталитическим газофазным гидрохлорированием ацетилена. Физико-химические основы процесса. Технологическая схема.
25. Области протекания гетерогенно-каталитических процессов.
26. Кинетические уравнения гетерогенно-каталитических процессов в кинетической области и влияние различных факторов на скорость процесса.
27. Кинетическое уравнение гетерогенно-каталитических процессов в области внешней диффузии и влияние различных факторов на скорость процесса.
28. Кинетическое уравнение гетерогенно-каталитических процессов в области внутренней диффузии и влияние различных факторов на скорость процесса.
29. Критерии влияния внешней и внутренней диффузии в гетерогенно-каталитических процессах.
30. Перевод гетерогенно-каталитического процесса из одной области протекания в другую.

## 5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости обучающихся очной формы и традиционная система контроля и оценки успеваемости обучающихся заочной формы. Основные требования балльно-рейтинговой системы по дисциплине и шкала оценивания приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Требования балльно-рейтинговой системы по дисциплине

Виды работ	Количество подвидов работы	Максимальные баллы за подвид работы					Штрафные баллы За нарушение сроков сдачи
		1	2	3	4	5	
Тестирование	2	20	20	-	-	-	
Выполнение лабораторных работ	5	6	6	6	6	6	
- оформление отчетов		2	2	2	2	2	
- сдача коллоквиумов		4	4	4	4	4	
Выполнений заданий для самостоятельной работы	2	10	10				До 2 за задание
Посещение занятий	10						

Таблица 8 - Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-54% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 55-70% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 71-85% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 86-100% от max рейтинговой оценки контроля
<b>ПК-2.</b> Способен использовать знание свойств органических веществ и технологий производства органических веществ для решения задач профессиональной деятельности	<b>ИПК-2-2.</b> Знает свойства основных и вспомогательных веществ и материалов, используемых при производстве	Изложение учебного материала бессистемное, неполное, не знает теоретических основ катализа органических реакций, не может использовать их в рамках поставленных целей и задач, что препятствует усвоению последующего материала	Фрагментарные, поверхностные знания по теоретическим основам катализа органических реакций. Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего материала. Допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя. Затруднения при формулировании основных положений и их применении	Знает материал на достаточно хорошем уровне; представляет основные задачи в рамках постановки целей и выбора оптимальных способов их достижения.	Имеет глубокие знания всего материала структуры дисциплины; освоил новации лекционного курса по сравнению с учебной литературой; изложение полученных знаний полное, системное; допускаются единичные ошибки, самостоятельно исправляемые при собеседовании
<b>ПК-3.</b> Способен осуществлять технологическое и организационно-управленческое сопровождение полного цикла производства органических веществ	<b>ИПК-3-2.</b> Изменяет технологический режим объектов по результатам лабораторных анализов и анализа моделей				

Таблица 9 - Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « <b>отлично</b> » заслуживает обучающийся, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « <b>хорошо</b> » заслуживает обучающийся, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « <b>удовлетворительно</b> » заслуживает обучающийся, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов, близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « <b>неудовлетворительно</b> » заслуживает обучающийся, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебная литература

6.1.1. Еремеев, И. В. Гетерогенный катализ. Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология» / И. В. Еремеев; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева. - Н. Новгород, 2019. - 128 с.

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных выше на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

### 6.2. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

6.2.1. Сост. Еремеев, И. В. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине «Теоретические основы катализа органических реакций» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» / НГТУ им. Р. Е. Алексеева; сост.: И. В. Еремеев. - Н. Новгород. - в разработке.

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### 7.1. Перечень информационных справочных систем

Дисциплина, относится к группе дисциплин, в рамках которых предполагается использование информационных технологий как вспомогательного инструмента.

Информационные технологии применяются в следующих направлениях: при подготовке и оформлении отчетов о лабораторных работах, выполнении заданий для самостоятельной работы.

Таблица 10 - Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

## 7.2. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины

Таблица 11 - Программное обеспечение

№ п/п	Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
1	Microsoft Windows 10 (подписка MSDN 700593597, подписка Dream Spark Premium, 19.06.19)	Adobe Acrobat Reader <a href="https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader.html">https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader.html</a>
2	Microsoft VISUAL STUDIO 2008 (подписка MSDN 700593597, подписка Dream Spark Premium, 19.06.19)	Visual Studio Code <a href="https://code.visualstudio.com/download">https://code.visualstudio.com/download</a>
3	Microsoft office 2010 (Лицензия № 49487295 от 19.12.2011)	Open Office <a href="https://www.openoffice.org/ru/">https://www.openoffice.org/ru/</a>
4	Консультант Плюс	PTC Mathcad Express <a href="https://www.mathcad.com/ru">https://www.mathcad.com/ru</a>

## Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

В таблице 12 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ).

Таблица 12 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№ п/п	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>
3	Инструменты и веб-ресурсы для веб-разработки – 100+	<a href="https://techblog.sdstudio.top/blog/instrumenty-i-veb-resursy-dlia-veb-razrabotki-100-plus">https://techblog.sdstudio.top/blog/instrumenty-i-veb-resursy-dlia-veb-razrabotki-100-plus</a>
4	Справочная правовая система «Консультант Плюс»	доступ из локальной сети

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 13 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования.

Таблица 13 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

Согласно Федеральному Закону об образовании 273-ФЗ от 29.12.2012 г. ст. 79, п.8 "Профессиональное обучение и профессиональное образование обучающихся с ограниченными возможностями здоровья осуществляются на основе образовательных программ, адаптированных при необходимости для обучения указанных обучающихся". АОП разрабатывается по каждой направленности при наличии заявлений от обучающихся, являющихся инвалидами или лицами с ОВЗ и изъявивших желание об обучении по данному типу образовательных программ.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине оснащены оборудованием и техническими средствами обучения.

В таблице 14 перечислены:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;
- помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ДПИ НГТУ.

Таблица 14 - Оснащенность аудиторий и помещений для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Наименование аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	1343 Аудитория для лекционных занятий Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49	Комплект демонстрационного оборудования: ПК, с выходом на мультимедийный проектор, на базе Intel Pentium G4560 3.5 ГГц, 4 Гб ОЗУ, монитор 20' – 1шт.	

№	Наименование аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
		Мультимедийный проектор Epson- 1 шт; Экран – 1 шт.	
2	<b>2410, 2412</b> Лаборатории Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49	Лабораторные установки по изучению химических процессов, укомплектованные регуляторами напряжения, измерителями температуры	
3	<b>1234</b> Научно-техническая библиотека ДПИ НГТУ, студенческий читальный зал; Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49	Комплект демонстрационного оборудования: ПК, с выходом на мультимедийный проектор, на базе Intel Pentium G4560 3.5 ГГц, 4 Гб ОЗУ, монитор 20' – 1шт. Мультимедийный проектор Epson- 1 шт; Экран – 1 шт.; Набор учебно-наглядных пособий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows 10 Домашняя (поставка с ПК)</li> <li>• Libre Office 6.1.2.1. (свободное ПО)</li> <li>• Foxit Reader (свободное ПО);</li> <li>• 7-zip для Windows (свободное ПО)</li> </ul>
4	<b>1443а</b> компьютерный класс - помещение для СРС, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49	ПК на базе Intel Celeron 2.67 ГГц, 2 Гб ОЗУ, монитор Acer 17' – 4 шт. ПК подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows 7 (подписка Dream Spark Premium)</li> <li>• Apache OpenOffice 4.1.8 (свободное ПО);</li> <li>• Mozilla Firefox (свободное ПО);</li> <li>• Adobe Acrobat Reader (свободное ПО);</li> <li>• 7-zip для Windows (свободное ПО);</li> <li>• Консультант Плюс (ГПД № 0332100025418000079 от 21.12.2018);</li> </ul>

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная, а также проводится в электронной информационно-образовательной среде университета (далее - ЭИОС).

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

- балльно-рейтинговая технология оценивания;
- текущий контроль знаний в форме тестирования.

При преподавании дисциплины «Теоретические основы катализа органических реакций» используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность обучающихся при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Весь лекционный материал курса сопровождается компьютерными презентациями, в которых наглядно преподносятся материал различных разделов курса, что дает возможность обсудить материал с обучающимися во время чтения лекций, активировать их деятельность при освоении материала. Все обучающиеся обеспечены лекциями в электронном виде. Это дает возможность обучающимся прорабатывать учебный материал в ходе самостоятельной работы.

На лекциях, лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется лично-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет обучающимся проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием как встреч с обучающимися, так и современных информационных технологий (электронная почта, Skype).

Иницируется активность обучающихся, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы обучающегося, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости обучающихся в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях обучающийся исчерпывающе, последовательно, четко и логично излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, обучающийся способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса в основном освоено. При устных собеседованиях обучающийся последовательно излагает учебный материал; при затруднениях способен после наводящих вопросов продолжить обсуждение, справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, обучающийся способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается несформированным**, если обучающийся при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (таблицы 5 и 6). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе обучающийся должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

## **10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающихся к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающихся на занятиях и в качестве выполненных заданий для самостоятельной работы и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины обучающиеся могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (таблица 14). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Для обучающихся по заочной форме обучения самостоятельная работа является основным видом учебной деятельности.

## **10.5. Методические указания для выполнения контрольной работы обучающимися заочной формы обучения**

При выполнении контрольной работы рекомендуется проработка материалов лекций по темам, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в разделе 6.

Выполнение контрольной работы способствует лучшему освоению обучающимися учебного материала, формирует практический опыт и умения по изучаемой дисциплине.

# **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**



## **11.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости**

Для текущего контроля знаний обучающихся по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- проведение лабораторных работ;
- тестирование на сайте преподавателя по различным разделам курса;
- проведение контрольных работ для обучающихся заочной формы;
- выполнение заданий для самостоятельной работы для обучающихся очной формы.

### **11.1.1. Типовые задания для лабораторных работ**

Типовые задания для лабораторных работ приведены в методических указаниях по проведению лабораторных работ (6.2.1).

### **11.1.2. Типовые вопросы (задания) для устного (письменного) опроса**

1. Дайте определение явления катализа.
2. Дайте классификацию каталитических процессов по их механизму.
3. Назовите причины каталитического ускорения в гетерогенном катализе.

### **11.1.3. Типовые тестовые задания**

*Примеры тестовых заданий* по дисциплине (оценочные средства в полном объеме хранятся на кафедре «Химические и пищевые технологии»):

#### *Основы гетерогенного катализа*

**Задание 1** (закрытое). Общий кислотный катализ - это

- А** - катализ любой кислотой Бренстеда;
- Б** - катализ любой кислотой Льюиса;
- В** - катализ любой кислотой Бренстеда, кроме  $H_3O^+$ .

**Задание 2** (закрытое). В гетерогенном катализе стадии внешней диффузии - это

- А** - 1) диффузия реагентов из ядра потока к поверхности зерен катализатора;  
2) диффузия реагентов от поверхности вглубь зерна по микропоре;
- Б** - 1) диффузия реагентов из ядра потока к поверхности зерен катализатора;  
2) диффузия реагентов от поверхности вглубь зерна по микропоре;  
3) диффузия продуктов к поверхности зерна катализатора по микропоре;
- В** - 1) диффузия реагентов из ядра потока к поверхности зерен катализатора;  
2) диффузия реагентов от поверхности вглубь зерна по микропоре;  
3) диффузия продуктов к поверхности зерна катализатора по микропоре;  
4) диффузия продуктов реакции от поверхности зерна катализатора в ядро потока;
- Г** - 1) диффузия реагентов из ядра потока к поверхности зерен катализатора;  
2) диффузия продуктов реакции от поверхности зерна катализатора в ядро потока.

#### *Промышленные каталитические реакторы*

**Задание 1** (закрытое). Реакторы для проведения реакций в газовой фазе над твердыми катализаторами по типу теплообмена обычно подразделяют на следующие группы:

- А** - идеального смешения;
- Б** - идеального вытеснения;
- В** - с теплообменом через стенку;
- Г** - с непосредственным контактом с катализатором или с потоком теплоносителя (адиабатические).

**Задание 2** (закрытое). Основными недостатками реакторов с псевдооживленным слоем катализатора по сравнению с реакторами с неподвижным слоем катализатора являются следующие:

- А** - обеспечивают менее интенсивный теплообмен в реакционной среде;
- Б** - меньшая селективность процесса;
- В** - проросок газового потока в виде пузырей;
- Г** - большой унос катализатора с газом;
- Д** - более интенсивное механическое разрушение катализатора;
- Е** - большее время пребывания для достижения заданной степени превращения реагентов.

*Примеры гетерогенно-каталитических процессов*

**Задание 1** (закрытое). Каталитический крекинг при вторичной нефтепереработке проводят на следующем катализаторе:

- А** - оксид цинка (ZnO);
- Б** - Pt / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- В** - алюмосиликаты;
- Г** - алюмо-кобальт-молибденовый;
- Д** - алюмо-никель-молибденовый.

**Задание 2** (закрытое). Для описания кинетики процесса получения винилхлорида гидрохлорированием ацетилена в присутствии нанесенного катализатора (HgCl<sub>2</sub>/активированный уголь) используют следующую кинетическую модель, основанную на предположении о необходимости адсорбции на поверхности катализатора на одинаковых активных центрах обоих реагентов (ацетилена и хлороводорода):

- А** -  $W = k P_{C_2H_2} P_{HCl} / (1 + b_{C_2H_2} P_{C_2H_2} + b_{HCl} P_{HCl} + b_{C_2H_3Cl} P_{C_2H_3Cl})^2$ ;
- Б** -  $W = k P_{C_2H_2} P_{HCl} / (1 + b_{C_2H_2} P_{C_2H_2}) (1 + b_{HCl} P_{HCl} + b_{C_2H_3Cl} P_{C_2H_3Cl})$ ;
- В** -  $W = k P_{C_2H_2} P_{HCl} / (1 + b_{C_2H_2} P_{C_2H_2} + b_{HCl} P_{HCl})$ ;
- Г** -  $W = k (P_{C_2H_2})^{1/2} (P_{HCl})^2 / (1 + b_{HCl} P_{HCl})$ ;
- Д** -  $W = [k_1 P_{C_2H_2} P_{HCl} + k_2 P_{C_2H_2} (P_{HCl})^{2,64}] / (P_{C_2H_2} + b_{HCl} P_{HCl})$ .

*Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов*

**Задание 1** (закрытое). Выделяют следующие основные области протекания гетерогенно-каталитических процессов:

- А** - физико-химическую;
- Б** - адсорбционную;
- В** - физическую;
- Г** - кинетическую;
- Д** - стехиометрическую;
- Е** - внешнюю;
- Ж** - внешне-диффузионную;
- З** - внутренне-диффузионную;
- И** - внутреннюю.

**Задание 2** (закрытое). Кинетическое уравнение газофазного гетерогенно-каталитического процесса, протекающего по схеме  $A \rightarrow B + C$  с константой скорости  $k$ , может быть следующим:

- А** -  $W = k P_A$ ;
- Б** -  $W = k b_A P_A$ ;
- В** -  $W = k$ ;
- Г** -  $W = k P_A P_B P_C$ ;
- Д** -  $W = k P_A + k P_B$ ;
- Е** -  $W = k P_A - k P_B - k P_C$ ;

$$\begin{aligned}
\text{Ж} - W &= (D/\delta) S P_A; \\
\text{З} - W &= \nu S (D^* k)^{1/2} P_A^{(n+1)/2}; \\
\text{И} - W &= k b_A P_A / (1 + b_A P_A + b_B P_B + b_C P_C); \\
\text{К} - W &= k b_A P_A / (1 + b_A P_A + b_B P_B + b_C P_C)^2; \\
\text{Л} - W &= k P_A / (1 + b_A P_A + b_B P_B + b_C P_C).
\end{aligned}$$

#### 11.1.4. Типовые задания для контрольной работы обучающихся заочной формы

**Тема:** макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов.

##### Вариант 1

Задание 1. Привести кинетическое уравнение гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B + C$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.

Задание 2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внутренне-диффузионной области в кинетическую.

##### Вариант 2

Задание 1. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A + B \rightarrow C + D$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.

Задание 2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из кинетической области во внутренне-диффузионную.

#### 11.1.5. Типовые задания для самостоятельной работы обучающихся очной формы

**Тема:** макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов.

##### Вариант 1

Задание 1. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B$ . Поверхность катализатора считать практически однородной.

Задание 2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внешне-диффузионной области в кинетическую.

##### Вариант 2

Задание 1. Привести кинетическое уравнение гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightleftharpoons B$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.

Задание 2. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из кинетической области во внешне-диффузионную.

#### 11.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен (по результатам накопительного рейтинга или в форме собеседования).

**Перечень вопросов и заданий для подготовки к экзамену (ПК-2; ИДК-2.2; ПК-3; ИДК-3.2):**

***Вопросы***

1. Стимулирование химических процессов под влиянием температуры, высоких давлений, под действием электролиза, ионизирующего, ультрафиолетового, сверхвысокочастотного излучений.
2. Понятия катализ, катализатор активный центр катализатора, каталитический цикл, активность катализатора и селективность каталитического процесса.
3. Классификация катализаторов и каталитических реакций.
4. Понятия промотор, каталитический яд, модификатор, носитель.
5. Определения специфического кислотного и основного катализа, общего кислотного и основного катализа, электрофильного и нуклеофильного катализа.
6. Общая макростадийная схема гетерогенно-каталитических процессов.
7. Явление адсорбции, виды адсорбции, критерии физической и химической адсорбции.
8. Поведение частиц на поверхности твердых тел. Поверхностная диффузия, адсорбционные формы, сопутствующие физические процессы. Модели адсорбции.
9. Равновесие адсорбционных процессов. Изотермы адсорбции на однородных и неоднородных поверхностях.
10. Функции катализаторов в химических процессах и причины каталитического ускорения.
11. Взаимодействие катализатора и реакционной среды. Изменение основных целевых свойств гетерогенных катализаторов под действием реакционной среды. Регенерация катализаторов.
12. Основные промышленные методы приготовления гетерогенных катализаторов.
13. Форма и размер гранул катализаторов.
14. Методы исследования гетерогенных катализаторов.
15. Состояние проблемы прогнозирования каталитического действия веществ.
16. Основные направления в развитии катализа.
17. Катализ атомарными переходными металлами.
18. Промышленные каталитические реакторы.
19. Реакторы с теплообменом через стенку и адиабатические реакторы, их сравнительная характеристика.
20. Реакторы с неподвижным и движущимся слоем катализатора, их сравнительная характеристика.
21. Исходные данные и цели расчета реакторов для проведения гетерогенно-каталитических процессов.
22. Каталитический крекинг. Физико-химические основы процесса. Сырье и целевые продукты. Схемы промышленных установок.
23. Каталитический риформинг. Физико-химические основы процесса. Сырье и целевые продукты. Схемы промышленных установок.
24. Получение винилхлорида каталитическим газофазным гидрохлорированием ацетилена. Физико-химические основы процесса. Технологическая схема.
25. Области протекания гетерогенно-каталитических процессов.
26. Кинетические уравнения гетерогенно-каталитических процессов в кинетической области и влияние различных факторов на скорость процесса.
27. Кинетическое уравнение гетерогенно-каталитических процессов в области внешней диффузии и влияние различных факторов на скорость процесса.
28. Кинетическое уравнение гетерогенно-каталитических процессов в области внутренней диффузии и влияние различных факторов на скорость процесса.
29. Критерии влияния внешней и внутренней диффузии в гетерогенно-каталитических процессах.

30. Перевод гетерогенно-каталитического процесса из одной области протекания в другую.

### **Задания**

1. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B$ . Поверхность катализатора считать практически однородной.
2. Привести кинетическое уравнение гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightleftharpoons B$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.
3. Привести кинетическое уравнение гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A \rightarrow B + C$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.
4. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A + B \rightarrow C + D$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.
5. Привести возможные кинетические уравнения гетерогенно-каталитического процесса в газовой фазе, протекающего по схеме  $A + B \rightleftharpoons C + D$  в кинетической области. Поверхность катализатора считать однородной.
6. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внешне-диффузионной области в кинетическую.
7. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из кинетической области во внешне-диффузионную.
8. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внутренне-диффузионной области в кинетическую.
9. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из кинетической области во внутренне-диффузионную.
10. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внешне-диффузионной области во внутренне-диффузионную.
11. Указать возможные факторы и направление их изменений для перевода гетерогенно-каталитического процесса из внутренне-диффузионной области во внешне-диффузионную.