

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**  
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по учебной работе

\_\_\_\_\_ Э.Ю. Майкова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины части, формируемой участниками образовательных отношений  
Блока 1 «Дисциплины (модули)»

**«Специальные разделы кинетики каталитических реакций»**

Направление подготовки магистров 18.04.01 Химическая технология

Направленность (профиль) – Химия и технология биологически активных  
веществ

Типы задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский;  
организационно-управленческий

Форма обучения – очная

Химико-технологический факультет

Кафедра «Биотехнологии, химии и стандартизации»

Тверь 20\_\_

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки магистров в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы:  
доцент кафедры БХС

Л.Ж. Никошвили

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры БХС  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой

М.Г. Сульман

Согласовано:  
Начальник учебно-методического  
отдела УМУ

Д.А.Барчуков

Начальник отдела  
комплектования  
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

## 1. Цель и задачи дисциплины

**Целью** изучения дисциплины «Специальные разделы кинетики каталитических реакций» является формирование у студентов знаний и навыков по использованию стратегических направлений в современном развитии катализа и при необходимости использовать полученные сведения в конкретной ситуации в области химии и химической технологии.

**Задачами дисциплины** являются:

- приобретение знаний о существующих подходах к кинетическому описанию гомогенно-каталитических и гетерогенно-каталитических процессов в закрытых и открытых системах, о современных типах каталитических установок, об особенностях эксплуатации гетерогенных катализаторов;
- овладение методами планирования и проведения кинетических исследований катализаторов, методами обработки и анализа полученных результатов, методами оценки основных показателей работы катализатора;
- формирование культуры мышления, способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;
- формирование умения оценивать результаты каталитических экспериментов и проводить их обработку, определять кинетических параметры работы катализатора на основании выбранной кинетической модели.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к дисциплине части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 ОП ВО. Для изучения курса требуются знания, умения и навыки, полученные в процессе изучения дисциплин химического профиля в бакалавриате.

Приобретенные знания в рамках данной дисциплины необходимы в дальнейшем при изучении дисциплин: «Технология синтеза биологически активных веществ», «Методы тонкого органического синтеза», «Катализаторы в тонком органическом синтезе», «Биокаталитические технологии». Приобретенные знания в рамках данной дисциплины необходимы в дальнейшем для выполнения научно-исследовательской работы, написании статей и тезисов, при подготовке выпускной квалификационной работы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

### 3.1 Планируемые результаты обучения по дисциплине

**Компетенция, закрепленная за дисциплиной в ОХОП:**

**ПК-1.** Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области химии и химической технологии биологически активных веществ и смежных науках.

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИПК-1.1.** Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

31.1. Принципы организации и планирования проведения кинетических исследований каталитических процессов.

**Уметь:**

У1.1. Применять полученные знания при планировании кинетических исследований каталитических процессов, выборе и обосновании кинетической модели на основании данных физико-химических исследований, а также знаний о базовых каталитических механизмах.

**Иметь опыт практической подготовки:**

ПП1.1. Планирования кинетических исследований, выбора математической модели на основе анализа экспериментальных данных и алгоритмизации расчета основных кинетических параметров.

**ИПК-1.2.** *Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.*

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

32.1. Теоретические основы кинетики гомогенно-каталитических и гетерогенно-каталитических процессов в закрытых и открытых системах; современные принципы организации каталитических процессов и типы каталитических реакторов, их достоинства и недостатки.

**Уметь:**

У2.1. Применять полученные знания для осуществления каталитических процессов, протекающих в установках различных типов с использованием как гомогенных, так и гетерогенных катализаторов.

**Иметь опыт практической подготовки:**

ПП2.1. Обработки и анализа результатов кинетических исследований каталитических процессов; разработки мер по рациональной эксплуатации катализаторов; оценке перспективности новых каталитических систем.

**ИПК-1.3.** *Контролирует правильность проведения химического анализа, физико-химических и других видов исследований.*

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

33.1. Методы оценки основных показателей работы катализаторов, особенности эксплуатации и основные требования, предъявляемые к гетерогенным катализаторам.

**Уметь:**

У3.1. Оценивать работу катализатора по основным показателям, включающим активность, селективность и стабильность, а также организовывать кинетические исследования для выбранного катализатора с целью обеспечения оптимальных условий его работы.

**Иметь опыт практической подготовки:**

ПП3.1. В анализе полученных результатов и прогнозировании поведения катализаторов при многофакторных экспериментах; в расчете основных кинетических параметров, а также использовании численных методов обработки экспериментальных данных.

### 3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций

Проведение лекционных занятий; выполнение практических работ; самостоятельная работа под руководством преподавателя.

### 4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	4	144
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>		36
В том числе:		
Лекции		12
Практические занятия (ПЗ)		24
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>		72+36(экз)
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Другие виды самостоятельной работы: - подготовка к практическим занятиям		50
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (зачет)		не предусмотрен
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		22+36(экз)
<b>Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)</b>		24
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Практические занятия (ПЗ)		24
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены

### 5. Структура и содержание дисциплины

#### 5.1. Структура дисциплины

Таблица 2. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование модуля	Труд-ть часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. практикум	Сам. работа
1	Основные понятия. Способы измерения и расчета каталитической активности	9	1	2	-	4+2(экз.)
2	Кинетика гомогенного катализа	13	1	2	-	6+4(экз.)
3	Кинетика гетерогенного катализа. Теория полиэдров	24	2	4	-	12+6(экз.)
4	Кинетика гетерогенного катализа. Адсорбционные теории катализа	37	3	6	-	18+10(экз.)

5	Диффузионная кинетика	33	3	6	-	16+8(экз.)
6	Кинетика каталитических процессов в трехфазных системах, осложненная явлением осцилляции	28	2	4	-	16+6(экз.)
<b>Всего на дисциплину</b>		<b>144</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>-</b>	<b>72+36(экз.)</b>

## 5.2. Содержание дисциплины

### **МОДУЛЬ 1 «ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ»**

Скорость каталитической реакции. Способы измерения и выражения каталитической активности. Удельная каталитическая активность. Селективность. Степень превращения. Выход. Одностадийные и многостадийные каталитические процессы. Понятие об элементарном акте каталитической реакции.

### **МОДУЛЬ 2 «КИНЕТИКА ГОМОГЕННОГО КАТАЛИЗА»**

Элементарные стадии гомогенного каталитического процесса. Особенности гомогенно-каталитических реакций в газовой и жидкой фазах. Теория Е.И. Шпитальского - Н.И. Кобозева (взаимодействие катализатора с молекулами реагентов, находящихся в основном состоянии). Кинетика каталитических процессов с предварительно возбужденными молекулами реагентов. Явление скрытого катализа.

### **МОДУЛЬ 3 «КИНЕТИКА ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА. ТЕОРИЯ ПОЛИЭДРОВ»**

Основные характеристики и принципиальные особенности твердых катализаторов. Теории гетерогенного катализа. Теория катализа полиэдрами. Типы полиэдров. Формирование аморфной и кристаллической решетки. Понятие об элементарной ячейке. Типы сингонии элементарных ячеек. Типы размещения элементарных ячеек в поверхностном слое твердого тела.

### **МОДУЛЬ 4 «КИНЕТИКА ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА. АДсорбЦИОННЫЕ ТЕОРИИ КАТАЛИЗА»**

Адсорбционная и десорбционная области протекания процесса. Понятие о физической и химической адсорбции. Критерии различия физической и химической адсорбции. Использование изобары адсорбции для исследования процессов адсорбции-десорбции. Активированная адсорбция. Постулат Тейлора. Адсорбционная теория Ленгмюра. Классификация энергетически однородных поверхностей. Определение однородности поверхности с помощью изотерм адсорбции. Допущения, лежащие в основе теории Ленгмюра. Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра. Закон действующих поверхностей.

Основные механизмы протекания гетерогенно-каталитических процессов. Механизм Ленгмюра-Хиншельвуда. Ударный механизм Или-Ридила. Катализ сложных реакций, маршрут реакции, стехиометрическое число.

## МОДУЛЬ 5 «ДИФФУЗИОННАЯ КИНЕТИКА»

Понятие о внешнедиффузионной и внутридиффузионной области протекания гетерогенно-каталитического процесса. Концентрационные профили в грануле пористого катализатора. Первый закон Фика. Второй закон Фика. Закон Эйнштейна. Закон Фурье. Механизм Кнудсена. Кинетическая и диффузионная область протекания каталитической реакции. Внешнедиффузионная область. Ламинарный и турбулентный режимы. Зависимость скорости диффузии от свойств реакционной смеси. Внутридиффузионная область. Кнудсеновская и фольмеровская диффузия. Стефановский поток. Переходные диффузионные области в кинетике гетерогенно-каталитических реакций.

## МОДУЛЬ 6 «КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ, ОСЛОЖНЕННАЯ ЯВЛЕНИЕМ ОСЦИЛЛЯЦИИ»

Осцилляция в порах катализатора в реакции жидкость/жидкость-газ с выделением тепла и газообразных продуктов. Анализ процессов выделения тепла и их влияния на химическую конверсию, массо- и теплоперенос. Опровержение модели Тиле/Зелдовича.

### 5.3. Лабораторные работы

Учебным планом лабораторные работы не предусмотрены.

### 5.4. Практические занятия

Таблица 3. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели практических занятий	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудоемкость в часах
<b>Модуль 1</b> <b>Цель:</b> формирование представления о разнообразии методов и приемов определения активности катализатора	Способы определения и расчета каталитической активности	2
<b>Модуль 2</b> <b>Цель:</b> изучить особенности кинетики нестационарных гомогенно-каталитических процессов, а также процессов с предварительно возбужденными молекулами реагентов	Применение закона действующих масс и принципа стационарных концентраций Боденштейна для вывода уравнений кинетики гомогенно-каталитических процессов	2
<b>Модуль 3</b> <b>Цель:</b> формирование представления о важности учета характеристик элементарных ячеек для понимания закономерностей протекания гетерогенно-каталитических процессов	Влияние характеристик элементарных ячеек (размер граней, тип упаковки полиэдров, состав и ориентация граней) металлов на протекание процессов каталитического гидрирования и окисления	4

<p><b>Модуль 4</b>  <b>Цель:</b> изучение основных механизмов протекания гетерогенно-каталитических процессов на основе существующих адсорбционных теорий катализа</p>	<p>Общие принципы вывода уравнений кинетики гетерогенно-каталитических процессов. Влияние смены лимитирующей стадии. Учет адсорбции продуктов реакции. Причины появления нулевых, отрицательных и дробных показателей степени в уравнении скорости реакции. Общие правила вывода уравнения для скорости реакции в случае, когда известен наиболее избыточный интермедиат реакции</p>	<p>6</p>
<p><b>Модуль 5</b>  <b>Цель:</b> изучение влияния диффузионных факторов на кинетические закономерности гетерогенно-каталитических процессов, селективность и значение кажущейся энергии активации</p>	<p>Влияние внешнедиффузионного режима на протекание реакции. Критерии внешнедиффузионной области. Факторы перехода из внешнедиффузионной области в кинетическую. Преимущества и недостатки работы во внешнедиффузионной области. Влияние внутريدиффузионного режима на протекание реакции. Уравнение для скорости каталитической реакции, протекающей во внутريدиффузионной области. Модуль Тиле. Критерии внутريدиффузионной области. Факторы перехода из внутريدиффузионной области в кинетическую. Преимущества и недостатки работы во внутريدиффузионной области. Кажущаяся энергия активации гетерогенно-каталитического процесса. Влияние области протекания реакции на значение кажущейся энергии активации</p>	<p>6</p>
<p><b>Модуль 6</b>  <b>Цель:</b> изучение современных подходов к кинетическому описанию и моделированию гетерогенно-каталитических процессов в трехфазных системах газ-жидкость-твердое</p>	<p>Сравнительный анализ промышленных процессов с использованием барботажных колонн и реакторов с фиксированным слоем катализатора</p>	<p>4</p>

## 6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль успеваемости

### 6.1. Цели самостоятельной работы

Основными целями самостоятельной работы магистрантов является формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых, рациональных и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

### 6.2. Организация и содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к практическим занятиям, к текущему контролю успеваемости; подготовке к экзамену.



После вводных лекций, в которых обозначается содержание дисциплины, ее проблематика и практическая значимость, студентам выдаются задания на практические занятия. Студенты выполняют задания в часы СРС в течение семестра в соответствии с освоением учебных разделов. Защита выполненных заданий производится поэтапно в часы практических занятий. Оценивание осуществляется путем устного опроса проводится по содержанию и качеству выполненного задания.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература по дисциплине**

1. Байрамов, В.М. Основы химической кинетики и катализа : учеб. пособие для хим. фак. ун-тов по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / В.М. Байрамов; под ред. В.В. Лунина. - Москва : Академия, 2003. - 252 с. - (Высшее образование). - Библиогр. : с. 242 - 243. - ISBN 5-7695-1297-0 : 114 р. - (ID=15644-18)

2. Сибаров, Д.А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие / Д.А. Сибаров, Д.А. Смирнова. - 2-е изд. ; стер. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ЭБС Лань. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 19.08.2022. - ISBN 978-5-8114-2158-9. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212642> . - (ID=134187-0)

3. Панченков, Г.М. Химическая кинетика и катализ : учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов / Г.М. Панченков, В.П. Лебедев. - 3-е изд. ; доп. и испр. - Москва : Химия, 1985. - 590 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 1 р. 70 к. - (ID=54837-25)

### **7.2. Дополнительная литература по дисциплине**

1. Стромберг, А.Г. Физическая химия : учебник для студентов вузов по хим. спец. / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко; под ред. А.Г. Стромберга. - 6-е изд. ; стер. - Москва : Высшая школа, 2006. - 527 с. : ил. - Библиогр. : с. 511 - 515. - Текст : непосредственный. - ISBN 5-06-003627-8 : 389 р. 50 к. - (ID=59130-8)

2. Корольков, Д.В. Основы теоретической химии : учеб. пособие для вузов по спец. 011000 "Химия" (специализации: 011024 "Квантовая химия", 011013 "Хим. кинетика и катализ", 011055 "Физ. химия") / Д.В. Корольков, Г.А. Скоробогатов. - Москва : Академия, 2004. - 347 с. - (Высшее профессиональное образование. Естественные науки). - Библиогр. : с. 327 - 340. - ISBN 5-7695-1442-6 : 264 р. - (ID=16443-9)

3. Сокольский, Д.В. Введение в теорию гетерогенного катализа : учеб. пособие для хим. спец. вузов / Д.В. Сокольский, В.А. Друзь. - 2-е изд. ; доп. и перераб. - Москва : Высшая школа, 1981. - 215 с. : ил. - Текст : непосредственный. - 75 к. - (ID=55043-21)

4. Физическая химия : в 2 кн. Кн. 2 : Электрохимия. Химическая кинетика и катализ / авт. кол.: К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнев [и др.] ; под ред. К.С. Краснова. - 3-е изд. ; испр. - Москва : Высшая школа, 2001. - 319 с. : ил. - ISBN 5-06-004026-7 : 65 р. - (ID=7774-5)

5. Казин, В.Н. Физическая химия : учебное пособие для вузов / В.Н. Казин, Е.М. Плисс, А.И. Русаков. - 2-е изд. ; доп. и испр. - Москва : Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-11119-4. - URL: <https://urait.ru/book/fizicheskaya-himiya-495081> . - (ID=134410-0)

6. Практикум по физической химии. Кинетика и катализ. Электрохимия : учеб. пособие для вузов по направлению "Химия" и спец. "Фундамент. и прикладная химия" / А.В. Абраменков [и др.]; под ред.: В.В. Лунина, Е.П. Агеева. - Москва : Академия, 2012. - 300 с. - (Высшее профессиональное образование. Естественные науки). - Текст : непосредственный. - ISBN 978-5-7695-6810-7 : 849 р. 42 к. - (ID=89196-6)

7. Кутепов, А.М. Общая химическая технология : учебник для вузов по спец. хим.-технол. профилю : в составе учебно-методического комплекса / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. - 3-е изд. ; перераб. - Москва : Академкнига, 2003. - 528 с. : ил. - (Учебники для вузов). - Библиогр. : с. 524 . - ISBN 5-94628-079-1 : 256 р. 50 к. - (ID=15549-31)

### 7.3. Методические материалы

1. Практикум по курсу "Специальные разделы кинетики каталитических реакций" : метод. указания для магистрантов по направлению 18.04.01 Хим. технология (магистерская программа "Химия и технология биолог. активных веществ") / Тверской гос. техн. ун-т, Каф. БТиХ ; сост.: Л.Ж. Никошвили, Э.М. Сульман. - Тверь : ТвГТУ, 2015. - Сервер. - Текст : электронный. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/109227> . - (ID=109227-1)

2. Практикум по курсу "Специальные разделы кинетики каталитических реакций" : метод. указания для магистрантов по направлению 18.04.01 Хим. технология (магистерская программа "Химия и технология биолог. активных веществ") / Тверской гос. техн. ун-т, Каф. БТиХ ; сост.: Л.Ж. Никошвили, Э.М. Сульман. - Тверь : ТвГТУ, 2015. - 23 с. - Текст : непосредственный. - 24 р. 90 к. - (ID=60817-95)

3. Механизмы гетерогенно-каталитических процессов с участием наночастиц палладия : учеб. пособие / Л.Ж. Никошвили [и др.]; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь : ТвГТУ, 2017. - 79 с. : ил. - Сервер. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-7995-0909-5 : 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/122633> . - (ID=122633-1)

4. Механизмы гетерогенно-каталитических процессов с участием наночастиц палладия : учебное. пособие для магистров по направлению подготовки 18.04.01 "Химическая технология" и 04.04.01 "Химия" / Л.Ж. Никошвили [и др.]; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь : ТвГТУ, 2017. - 79 с. - Текст : непосредственный. - ISBN 978-5-7995-0909-5 : [б. ц.]. - (ID=123454-75)

5. Химические реакторы : учебное пособие / Тверской гос. техн. ун-т ; составители: В.Ю. Долуда, А.В. Быков, М.Е. Григорьев, Л.Ж. Никошвили, Э.М.

Сульман. - Тверь : ТвГТУ, 2019. - 159 с. - Текст : непосредственный. - ISBN 978-5-7995-1061-9 : 402 p. - (ID=135604-72)

6. Химические реакторы : учебное пособие / Тверской гос. техн. ун-т ; составители: В.Ю. Долуда, А.В. Быков, М.Е. Григорьев, Л.Ж. Никошвили, Э.М. Сульман. - Тверь : ТвГТУ, 2019. - 159 с. : ил. - Сервер. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-7995-1061-9 : 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/135454> . - (ID=135454-1)

7. Учебно-методический комплекс дисциплины "Специальные разделы кинетики каталитических реакций" направления подготовки 18.04.01 Химическая технология. Направленность (профиль): Химия и технология биологически активных веществ : ФГОС 3++ / Каф. Биотехнология и химия ; сост. Л.Ж. Никошвили. - 2022. - (УМК). - Текст : электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/129401> . - (ID=129401-1)

#### **7.4. Программное обеспечение по дисциплине**

Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

#### **7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет**

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы: <https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭК ТвГТУ: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань": <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн": <https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»: <https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»): <https://urait.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY: <https://elibrary.ru/>
8. Информационная система "ТЕХНОРМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ": сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНИПы и др.). Диск 1, 2, 3, 4. - М.: Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст: электронный. - 119600 p. – (105501-1)
9. База данных учебно-методических комплексов: <https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/129401>

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

При изучении дисциплины «Специальные разделы кинетики каталитических реакций» используются современные средства обучения, возможна демонстрация лекционного материала с помощью проектора. Аудитория для проведения лекционных занятий, проведения защит и

презентаций курсовых работ оснащена современной компьютерной и офисной техникой, необходимым программным обеспечением, электронными учебными пособиями и законодательно-правовой поисковой системой, имеющий выход в глобальную сеть.

## **9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

### **9.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена**

1. Экзаменационный билет соответствует форме, утвержденной Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования с учетом профессиональных стандартов. Типовой образец экзаменационного билета приведен в Приложении. Обучающемуся даётся право выбора заданий из числа, содержащихся в билете, принимая во внимание оценку, на которую он претендует.

Число экзаменационных билетов – 15. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3 (1 вопрос для категории «знать» и 2 вопроса для категории «уметь»).

Продолжительность экзамена – 60 минут.

2. Шкала оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

3. Критерии оценки за экзамен:

для категории «знать»:

выше базового – 2;

базовый – 1;

ниже базового – 0;

критерии оценки и ее значение для категории «уметь»:

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 2 балла.

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

4. Вид экзамена – письменный экзамен, включающий решение задач с использованием справочного материала и непрограммируемого калькулятора.

#### **5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамене:**

- 1) Основные понятия катализа: скорость реакции, селективность, степень превращения, выход. Способы определения каталитической активности.
- 2) Особенности гомогенно-каталитических реакций в газовой и жидкой фазах (понятие об элементарном акте, элементарные стадии). Основные положения теории Е.И. Шпитальского-Н.И. Кобозева.
- 3) Теория Е.И. Шпитальского-Н.И. Кобозева: принцип вывода уравнений кинетики для необратимых мономолекулярных реакций. Принцип стационарных концентраций Боденштейна и его использование при выводе уравнений кинетики.

- 4) Принцип стационарных концентраций Боденштейна и его использование при выводе уравнений кинетики для необратимых мономолекулярных гомогенно-каталитических реакций.
- 5) Кинетика каталитических процессов с предварительно возбужденными молекулами реагентов. Явление скрытого катализа.
- 6) Основные характеристики и принципиальные особенности твердых катализаторов. Теории гетерогенного катализа.
- 7) Теория катализа полиэдрами. Типы полиэдров. Формирование аморфной и кристаллической решетки. Принципы обозначения граней элементарной ячейки.
- 8) Адсорбционная и десорбционная области протекания процесса. Понятие о физической и химической адсорбции. Критерии различия физической и химической адсорбции.
- 9) Использование изобары адсорбции для исследования процессов адсорбции-десорбции на поверхности катализатора. Активированная адсорбция. Постулат Тейлора.
- 10) Адсорбционная теория Ленгмюра: основные допущения, классификация энергетически однородных поверхностей. Вывод уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра.
- 11) Адсорбционная теория Ленгмюра: закон действующих поверхностей, механизм Ленгмюра-Хиншельвуда, два частных случая.
- 12) Причины появления отрицательных и дробных показателей степени в уравнении для скорости реакции, полученном на основании адсорбционной теории Ленгмюра.
- 13) Ударный механизм Или-Ридила. Катализ с участием прочно хемосорбированных молекул.
- 14) Приближение стационарного состояния в кинетике гетерогенно-каталитических процессов: общие принципы вывода уравнения для скорости мономолекулярной реакции согласно адсорбционной теории Ленгмюра.
- 15) Приближение лимитирующей стадии в кинетике гетерогенно-каталитических процессов: общие принципы вывода уравнения для скорости мономолекулярной реакции согласно адсорбционной теории Ленгмюра.
- 16) Вывод уравнения для скорости мономолекулярной реакции согласно адсорбционной теории Ленгмюра с учетом адсорбции продукта реакции. Как различить частные случаи возможного механизма протекания реакции?
- 17) Приближение лимитирующей стадии в кинетике гетерогенно-каталитических процессов: общие принципы вывода уравнения для скорости бимолекулярной реакции согласно адсорбционной теории Ленгмюра.
- 18) Катализ сложных реакций. Понятие о маршруте реакции и стехиометрическом числе. Общие правила вывода уравнения для

скорости реакции в случае, когда известен наиболее избыточный интермедиат реакции (НИИР).

- 19) Диффузионная кинетика. Основные законы, описывающие процессы диффузии и теплопередачи: первый закон Фика, второй закон Фика, закон Эйнштейна, закон Фурье.
- 20) Кинетическая и диффузионная область протекания каталитической реакции (понятие о внутридиффузионной и внешнедиффузионной областях). Влияние диффузионных факторов на закономерности протекания каталитических процессов.
- 21) Диффузионная кинетика. Влияние диффузионных факторов на наблюдаемый порядок реакции и значения кажущейся энергии активации.
- 22) Внешнедиффузионная область протекания гетерогенно-каталитического процесса: зависимость скорости внешней диффузии от свойств катализатора и от условий реакции.
- 23) Внешнедиффузионная область протекания гетерогенно-каталитического процесса: зависимость скорости внешней диффузии от условий реакции. Критерии внешнедиффузионной области.
- 24) Внутридиффузионная область протекания гетерогенно-каталитического процесса: виды внутренней диффузии молекул в порах катализатора, их характерные особенности. Стефановский поток.
- 25) Внутридиффузионная область протекания гетерогенно-каталитического процесса: влияние внутренней диффузии на закономерности протекания реакции.
- 26) Внутридиффузионная область протекания гетерогенно-каталитического процесса: влияние различных факторов на скорость реакции. Критерии внутридиффузионной области.
- 27) Осцилляция в порах гетерогенных катализаторов. Условия возникновения осцилляции. Основные следствия и возможности практического применения осцилляторной модели поведения катализаторов.
- 28) Использование многофазных технологий в промышленных каталитических процессах. Сравнение реакторов с фиксированным слоем катализатора с реакторами с суспендированным катализатором. Способы удаления тепла из слоя катализатора.
- 29) Использование многофазных технологий в промышленных каталитических процессах. Реакторы с обтекаемым слоем катализатора и барботажные колонны: особенности гидродинамики, тепло- и массопереноса.
- 30) Использование многофазных технологий в промышленных каталитических процессах. Реакторы с обтекаемым слоем катализатора и барботажные колонны: возможности интенсификации и масштабирования каталитических процессов; обеспечение безопасности.
- 31) Использование многофазных технологий в промышленных каталитических процессах. Реакторы со стекающей пленкой жидкости и

рециклом жидкости: основные особенности; возможности интенсификации и масштабирования.

- 32) Использование POLF-технологии в промышленных каталитических процессах. Основные принципы и преимущества. Особенности гидродинамики и массопереноса. Подходы к масштабированию и обеспечение безопасности.

Пользование различными техническими устройствами, кроме ЭВМ компьютерного класса и программным обеспечением, необходимым для решения поставленных задач, не допускается. При желании студента покинуть пределы аудитории во время экзамена экзаменационный билет после его возвращения заменяется.

Преподаватель имеет право после проверки письменных ответов на экзаменационные вопросы и решенных на компьютере задач задавать студенту в устной форме уточняющие вопросы в рамках содержания экзаменационного билета, выданного студенту.

Иные нормы, регламентирующие процедуру проведения экзамена, представлены в Положении о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

## **9.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме зачета**

Учебным планом зачет по дисциплине не предусмотрен.

## **9.3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы**

Учебным планом не предусмотрены.

## **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Студенты перед началом изучения дисциплины ознакомлены с системами кредитных единиц и балльно-рейтинговой оценки.

Студенты, изучающие дисциплину, обеспечиваются электронными изданиями или доступом к ним, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению практических работ, всех видов самостоятельной работы.

В учебный процесс рекомендуется внедрение субъект-субъектной педагогической технологии, при которой в расписании каждого преподавателя определяется время консультаций студентов по закрепленному за ним модулю дисциплины.

## **11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины**

Содержание рабочих программ дисциплин ежегодно обновляется протоколами заседаний кафедры по утвержденной «Положением о структуре, содержании и оформлении рабочих программ дисциплин по образовательным программам, соответствующим ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов» форме.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки магистров 18.04.01 Химическая технология  
Профиль – Химия и технология биологически активных веществ  
Кафедра Биотехнологии, химии и стандартизации  
Дисциплина «Специальные разделы кинетики каталитических реакций»  
Семестр 1

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Задание для проверки уровня «знать» – или 0, или 1, или 2 балла:  
Использование многофазных технологий в промышленных каталитических процессах. Реакторы с неподвижным слоем катализатора и барботажные колонны: особенности гидродинамики, тепло- и массопереноса.
2. Задание для проверки уровня «уметь» – или 0, или 2 балла:  
Использование изобары адсорбции для исследования процессов адсорбции-десорбции. Активированная адсорбция. Постулат Тейлора.
3. Задание для проверки уровня «уметь» – или 0, или 2 балла:  
Каков механизм реакции  $A \rightarrow B$  на поверхности катализатора при следующем кинетическом уравнении?

$$r = \frac{k \cdot \sqrt{C_A}}{1 + \sqrt{K_A C_A}}$$

**Критерии итоговой оценки за экзамен:**

- «отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
- «хорошо» - при сумме баллов 4;
- «удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
- «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2 балла;

Составитель: доц. кафедры БХС

Л.Ж. Никошвили

Заведующий кафедрой БХС

М.Г. Сульман