

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

\_\_\_\_\_ А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № УД-14125/уч.



## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КАТАЛИЗА

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности:

**1-31 05 04 Фундаментальная химия**

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 04-2021, учебного плана № G31-1-010/уч. от 25.05.2021 и № G-31-1-237/уч. от 22.03.2022.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**А.Е.Усенко**, доцент кафедры физической химии и электрохимии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

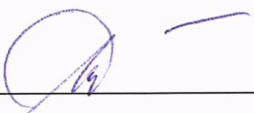
**А.А.Черник**, заведующий кафедрой химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники факультета химической технологии и техники УО «Белорусский государственный технологический университет», кандидат химических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

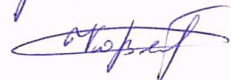
Кафедрой физической химии и электрохимии БГУ  
(протокол № 15 от 19.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой

  
\_\_\_\_\_

Е.А.Стрельцов

Г.В. Ковальчук-Рабинская  


## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

Цель учебной дисциплины – состоит в формировании системы знаний и представлений у студентов о физико-химических закономерностях возникновения каталитических эффектов, принципах каталитического действия веществ разной природы, механизмах протекания на этих катализаторах процессов, применяющихся в крупно- и малотоннажной химии, а также знакомство студентов с каталитическими технологиями защиты окружающей среды от техногенного воздействия.

Задача учебной дисциплины:

закключаются в ознакомлении студентов с методами расчета кинетических параметров и подходами к обоснованию возможных кинетических моделей практически значимых каталитических процессов.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина является дисциплиной по выбору и относится к модулю компонента учреждения высшего образования «Химическая технология».

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Для освоения дисциплины студент должен иметь представления о современном состоянии теорий химической кинетики, уметь применять формально-кинетический аппарат для анализа химических реакций различного типа, владеть навыками проведения кинетического эксперимента и методами обработки его результатов. Таким образом, в процессе освоения студентами дисциплины «Теория и практика катализа» особое внимание уделяется умению корректно применять знания, навыки и компетенции, полученные в рамках дисциплины специальности «Физическая химия (в частности, раздел «Химическая кинетика и катализ»)», изучаемой на предыдущих курсах. Междисциплинарный характер каталитической химии предусматривает освоение студентами ряда предшествующих дисциплин специальности учебного плана: «Коллоидная химия», «Органическая химия».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Теория и практика катализа» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций:

#### ***Специализированные компетенции***

Характеризовать химические, физические и технические аспекты типовых химико-технологических процессов с учётом сырьевых и энергетических затрат.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

основные понятия, принципы и теории катализа; ·причины каталитического действия различных классов веществ; ·физико-химические характеристики практически значимых катализаторов и методы их определения; ·общие

представления о механизмах и условиях протекания важнейших промышленных каталитических процессов

**уметь:**

рассчитывать кинетические параметры практически значимых каталитических процессов при изменении количественного состава системы и внешних условий; прогнозировать изменение каталитических свойств важнейших классов катализаторов; корректно выбирать методы исследования физико-химических свойств катализаторов

**владеть:**

методами расчета кинетических параметров и подходами к обоснованию возможных кинетических моделей практически значимых каталитических процессов.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 9 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Теория и практика катализа» отведено для очной формы получения высшего образования – 94 часа, в том числе 44 аудиторных часа: лекции – 28 часов, практические занятия – 6 часов, семинарские занятия – 10 часов. **Из них:**

Лекции – 28 часов, семинарские занятия – 4 часа, практические занятия – 6 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачёт.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Тема 1. Общие представления о катализе.**

1.1 Определение катализа и катализатора. Предмет каталитической химии. Краткий исторический экскурс развития представлений о катализе. Каталитические процессы в природе. Роль катализа в современной промышленности.

1.2 Принципы классификации катализаторов и каталитических процессов.

1.3 Реакционный путь в присутствии катализатора. Промежуточные соединения в катализе. Каталитический цикл. Слитный и стадийный механизмы каталитических превращений. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.

1.4 Основные характеристики катализаторов: активность, селективность, стабильность. Сравнение характеристик гомогенных и гетерогенных катализаторов.

### **Тема 2. Гомогенный катализ.**

2.1 Классификация гомогенных каталитических процессов. Гомогенный катализ в газовой фазе. Гомогенный катализ в жидкой фазе.

2.2 Особенности протекания каталитических реакций в растворах: клеточный эффект, взаимодействие с растворителем, реакции с участием ионов. Солевые эффекты в катализе.

2.3 Принципы расчёта константы скорости реакции в жидкой среде при диффузионном ограничении процесса (взаимодействие нейтральных частиц, заряженных частиц); при кинетическом ограничении процесса (влияние ионной силы растворителя, диэлектрической постоянной среды).

2.4 Кислотно-основный гомогенный катализ. Особенности кинетики специфического и общего кислотно-основного катализа. Функция кислотности Гаммета. рН-диаграммы Скрабала. Расчёт эффективной константы скорости каталитического процесса.

2.5 Электрофильный и нуклеофильный катализ. Кислоты и основания Льюиса. Классификация кислот и оснований по Пирсону (принцип ЖМКО). Закономерности и примеры реакций нуклеофильного катализа. Закономерности и примеры реакций электрофильного катализа.

2.6 Металлокомплексный катализ. Основные стадии. Правила Хиггинсона и Толмена. Правило Чатта. Примеры реакций, катализируемых комплексами металлов: гидрирование, карбонилирование; окисление и метатезис олефинов, изомеризация, олигомеризация и полимеризация олефинов.

2.7 Окислительно-восстановительный гомогенный катализ. Автокатализ. Колебательные реакции.

### **Тема 3. Межфазный катализ.**

3.1 Катализ межфазного переноса (КМФП). Ионные пары в органической фазе. Экстракция ионных пар из водной фазы. Механизм реакций в нейтральных средах. Практическое использование катализа МФП: алкилирование,

изомеризация, реакции присоединения, конденсации, элиминирования, гидролиз, нуклеофильное ароматическое замещение и другие реакции, проходящие в присутствии оснований.

#### **Тема 4. Мицеллярный катализ.**

4.1 Физико-химические свойства водных растворов ПАВ. Модели распределения низкомолекулярных веществ между водной и мицеллярной фазами. Кинетические модели химических реакций  $n$ -го порядка в присутствии мицелл ПАВ.

#### **Тема 5. Ферментативный катализ.**

5.1 Структурная организация ферментов. Активность ферментов. Кинетика ферментативных реакций: уравнение Михаэлиса-Ментен. Определение кинетических параметров ферментативных реакций.

5.2 Типы обратимого ингибирования. Обратимое конкурентное, неконкурентное и бесконкурентное ингибирование. Субстратное ингибирование.

#### **Тема 6. Гетерогенный катализ.**

6.1 Особенности катализа твёрдыми катализаторами. Понятие активного центра гетерогенного катализатора. Теории гетерогенного катализ.

6.2 Стадии гетерогенного каталитического процесса. Методы определения скорости-лимитирующей стадии гетерогенно-каталитического процесса. Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов. Внешне- и внутридиффузионная области гетерогенно-каталитической реакции.

6.3 Потенциальная кривая гетерогенной каталитической реакции. Энергия активации гетерогенно- каталитического процесса.

6.4 Роль адсорбции в гетерогенных каталитических процессах. Адсорбция на энергетически однородной поверхности. Адсорбционная теория Лэнгмюра. Нелэнгмюровские изотермы адсорбции. Кинетические модели Лэнгмюра-Хиншельвуда и Риделя-Или гетерогенной каталитической реакции на границе газ-твёрдое тело. Адсорбция на энергетически неоднородной поверхности.

6.5 Некоторые типы гетерогенных катализаторов: металлы и сплавы; оксиды и сульфиды переходных металлов; кислотно-основные катализаторы; цеолиты (молекулярные сита).

6.6 Области применения катализаторов: производство неорганических и органических веществ; нефтепереработка и нефтехимия; процессы преобразования энергии; катализ и проблемы экологии.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий  
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		<b>28</b>	<b>6</b>	<b>4</b>			<b>6</b>	
1	Общие представления о катализе.	4	2				1	Опрос. Контрольная работа.
2	Гомогенный катализ.	8		2			1	Контрольная работа. Доклад.
3	Межфазный катализ.	2	1				1	Доклад.
4	Мицеллярный катализ.	4	1				1	Доклад.
5	Ферментативный катализ.	4	2				1	Опрос. Контрольная работа. Доклад.
6	Гетерогенный катализ.	6		2			1	Контрольная работа. Доклад. Кейс-метод.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Романовский, Б. В. Основы катализа : учебное пособие / Б. В. Романовский. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020. – 172 с.
2. Аветисов, А. К. Прикладной катализ : учебник / А. К. Аветисов, Л. Г. Брук ; под редакцией О. Н. Темкина. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 200 с.
3. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие для вузов / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 200 с.

### Дополнительная литература

4. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 501 с.
5. Крылов, О. В. Гетерогенный катализ : учеб. пособие / О. В. Крылов. - Москва : Академкнига, 2004. - 680с.
6. Байрамов, В. М. Основы химической кинетики и катализа : учебное пособие / В.М.Байрамов; Под ред. В.В.Лунина. - М. : Academia, 2003. - 252с.
7. Демлов, Э. Межфазный катализ / Э. Демлов, З. Демлов ; пер. с англ. С. С. Юфита ; под ред. Л. А. Яновской. - Москва : Мир, 1987. - 485 с.
8. Накамура, А. Принципы и применение гомогенного катализа / А. Накамура, М. Цуцуи ; пер. с англ. А. А. Белого. - Москва : Мир, 1983. - 231 с.
9. Боресков, Г. К. Гетерогенный катализ / Г. К. Боресков - Москва : Наука, 1986. - 303 с.
10. Нанокатализ в современной химии и химической технологии: монография. / Ю. В. Попов [и др.] – Волгоград : ВолгГТУ, 2016. – 272 с.
11. Физическая химия.: учебник для вузов: В 2 кн. / под. ред. К.С. Краснова – 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. - Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. – 319 с.
12. Колесников, И.М. Катализ и производство катализаторов. / И.М. Колесников – М. : Техника, 2004. –399 с.
13. Беркман, С. Катализ в неорганической и органической химии : [в 2 кн.]. / С. Беркман, Д. Моррел, Г. Эглофф ; пер. с англ. под ред. Г. М. Цигуро. - Москва ; Ленинград : Гостоптехиздат, 1949. - 750 с.
14. Хенрици-Оливэ, Г. Координация и катализ / Г. Хенрици-Оливэ, С. Оливэ ; пер. с англ. С. Л. Давыдовой. - Москва : Мир, 1980. - 421 с.
15. Бендер, М. Л. Биоорганическая химия ферментативного катализа / М. Бендер, Р. Бергерон, М. Комияма ; пер. с англ. А. Д. Рябова, Ю. Л. Хмельницкого ; под ред. И. В. Березина. - Москва : Мир, 1987. - 352 с.
16. Khan, M. N. Micellar catalysis / Surfactant Science Series – CRC Press, 2006. – V. 133.– 482 p.
17. Grison, C., Escande, V., Biton, J. Ecocatalysis: A New Integrated Approach to Scientific Ecology. –Elsevier, 2015.



18. Green Chemistry : Process Technology and Sustainable Development / Tatsiana Savitskaya [et al.]. - Hangzhou : Zhejiang University Press : Springer, 2022. – 147 p.

19. Пивоварова, Н.А. Гетерогенный катализ в нефтепереработке: учебное пособие / Н.А. Пивоварова, Л.Б. Кириллова, А.Ю. Морозов – Астрахань : АГТУ, 2015. – 196 с.

20. Нечепуренко, Ю.В. Коммерциализация результатов научно-технической деятельности: научно-практическое пособие / Ю.В. Нечепуренко. – Минск : НИИ ФХП БГУ, 2012. – 225 с.

21. Колпакова, Н.А. Сборник задач по химической кинетике / Н.А. Колпакова, С.В. Романенко, В.А. Колпаков. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 280 с.

22. Сборник задач по химической кинетике и катализу: учебное пособие / Е.Н. Савинов [и др.]. – Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т., 2009. – 148 с.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Текущий контроль качества усвоения знаний по учебной дисциплине осуществляется с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Опрос.
2. Письменные контрольные работы.
3. Доклады.

Защита доклада предполагает подготовку презентации. При оценивании содержания доклада необходимо обратить внимание на полноту раскрытия темы, последовательность изложения, используемые источники и их интерпретацию, корректность оформления.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Теория и практика катализа» учебным планом предусмотрен зачёт.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы**

**Тема 1. «Общие представления о катализе»,**

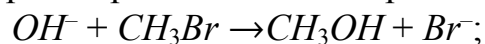
**Тема 2. «Гомогенный катализ» (2 ч.)**

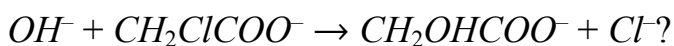
1. Поясните термины «гомолитический механизм катализа» и «гетеролитический механизм катализа». Приведите примеры таких процессов.

2. Какие виды активности катализаторов вам известны и каким набором экспериментальных данных необходимо обладать, чтобы их оценить?

3. Поясните термин «каталитический цикл»? Приведите несколько примеров КЦ.

4. Как будут зависеть от диэлектрической постоянной среды и ионной силы раствора константы скорости следующих реакций:

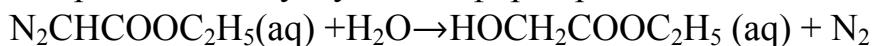




Ответ обоснуйте.

5. По виду рН-диаграммы Скрабала определите тип катализа и выведите выражение для расчёта эффективной константы скорости реакции (студентам предлагаются различные виды диаграмм).

6. Реакция гидролиза диазоуксусного эфира протекает по схеме:

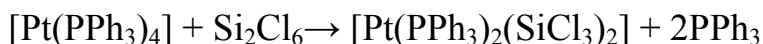


Катализатором данного процесса являются ионы водорода. Эффективная константа скорости процесса изменяется с концентрацией ионов водорода следующим образом:

$C_{H^+} \times 10^3$ , моль/дм <sup>3</sup>	0,46	0,87	1,58	3,23
$k_{эфф} \times 10^2$ , дм <sup>3</sup> /(моль с)	1,68	3,20	5,78	12,18

Постройте график зависимости  $k_{эфф} = f(C_{H^+})$ , определите постоянные этого уравнения:  $k_0$ ,  $k_{H^+}$ .

7. Проанализируйте приведённые стадии с использованием терминологии металлокомплексного катализа:



8. Перечислите и поясните элементарные стадии в реакциях металлокомплексных соединений. Проиллюстрируйте реакции, протекающие по внутри- и внешнесферному механизму металлокомплексного катализа.

9. Каковы различия в процессах окислительного сочетания и окислительного присоединения?

10. Запишите механизм процессов фотодеструкции галогенуглеводородов и оксидов азота в озоновом слое. Получите выражение для скорости разложения одного из них, применяя соответствующее приближение. Почему этот процесс можно отнести к каталитическому?

**Форма контроля** – опрос, контрольная работа, доклад.

**Тема 3. «Межфазный катализ»,**

**Тема 4. «Мицеллярный катализ» (2 ч.)**

Подготовка реферата и его защита с докладом и презентацией

**Форма контроля** – доклад.

**Тема 5. «Ферментативный катализ» Тема 6. «Гетерогенный катализ»**  
**(2 ч.)**

1. Фермент трансаминаза осуществляет реакцию переноса аминогруппы с глутаминовой кислоты на щавелево-уксусную. Рассчитайте параметры уравнения Михаэлиса-Ментен, исходя из приведенных ниже данных:

$C_{H^+} \times 10^6$ , моль/дм <sup>3</sup>	0,30	0,50	2,00	4,00	10,00
$v_0 \times 10^6$ , моль/ (дм <sup>3</sup> *с)	0,17	0,27	0,65	0,78	0,81

Какими дополнительными данными необходимо обладать, чтобы рассчитать  $k_2$  для этой реакции?

2. При добавлении ингибитора в ферментативную систему, подчиняющуюся схеме Михаэлиса–Ментен, максимальная скорость реакции уменьшилась в 5 раз, а  $K_M$  не изменилась. Предложите схему ингибирования и рассчитайте  $K_I$ , если концентрация ингибитора равнялась  $4 \times 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

3. При изучении гетерогенных каталитических реакций применяют термины «микрокинетика» и «макрокинетика» процесса. Поясните эти термины.

4. Изобразите потенциальные кривые для реакции типа  $A \rightarrow P$  с участием гетерогенного катализатора. Поясните термин «кажущаяся энергия активации» и «истинная энергия активации».

5. Изучите процесс окисления CO кислородом  $O_2$  на поверхности катализатора из Pt ( $CO + 0,5O_2 \rightarrow CO_2$ ). Получите выражения для порядков реакции по CO,  $O_2$  и  $CO_2$ , а также для кажущейся энергии активации этого процесса.

6. В таблице приведены данные по адсорбции CO на активированном угле при 0 °С:

p, (мбар)	133	267	400	533	667	800	933
V, (см <sup>3</sup> )	10.3	19.3	27.3	34.1	40.0	45.5	48.0

Определите, подчиняются ли полученные данные изотерме Лэнгмюра? Рассчитайте параметры изотермы.

7. В научной литературе упоминается, что ароматизация углеводородов происходит с большей скоростью на поверхности Pt(111), чем на поверхности Pt(100). Объясните это явление.

8. Оксиды  $Cu_2O$ , NiO и CoO обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к CO. Объясните природу этого явления. Как изменятся свойства оксидов при легировании их  $Li_2O$ ?

9. Поверхность алюмосиликатов можно отнести к сильным кислотам Бренстеда, а силикагеля – к слабым. Почему введение  $Al^{3+}$  в  $SiO_2$  приводит к увеличению кислотности?

10. Необходимо определить следующие свойства твёрдого катализатора:  
а) поверхностные комплексы; б) число и тип активных центров; в) удельную поверхность и размер пор; г) распределение элементов на поверхности; д) элементный состав объёма катализатора; е) фазовый состав; ж) размер кристаллитов.

Какими методами можно определить каждую из характеристик?

11. Какую информацию о свойствах катализатора позволяет получить температурно-программируемая десорбция?

12. Необходимо провести следующие промышленные процессы:  
а) алкилирование бензола этиленом, б) крекинг высших УВ, в) дегидрирование амидов до аминов, г) дегидрирование этилбензола в стирол, д) этерификация, е) гидрирование СО до метанола; ж) гидрирование растительных масел; з) изомеризация пентана в изопентан, и) окисление аммиака до оксидов азота, к) окисление  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ , л) риформинг для получения ароматических УВ, м) окисление метанола до формальдегида.

Выберите наиболее подходящие катализаторы для каждого из процессов: Pt/носитель,  $\text{ZnCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , Pt,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Ag, алюмосилкаты, цеолиты, Ni, оксиды железа/промотор, ионообменные смолы, CuO.

**Форма контроля** –опрос, контрольная работа, доклад, кейс-метод.

### **Примерный тематика практических и семинарских занятий**

*Занятие 1.* Общие представления о катализе.

*Занятие 2.* Гомогенный катализ.

*Занятие 3.* Межфазный катализ.

*Занятие 4.* Мицеллярный катализ.

*Занятие 5.* Ферментативный катализ.

*Занятие 6.* Гетерогенный катализ.

### **Примерные темы рефератов**

Темы рефератов формируются на основе практической значимости каталитического процесса и применения определенных классов катализаторов и могут быть изменены по согласованию с преподавателем. Защита реферата предполагает подготовку доклада с презентацией.

1. Металлокомплексный катализ: реакции кросс-сочетания.
2. Металлокомплексный катализ: изомеризация алкенов.
3. Металлокомплексный катализ: метатезис алкенов.
4. Межфазный катализ: реакции окисления.
5. Межфазная поликонденсация: получение поликарбоната.
6. Применение катализаторов в синтезе противоопухолевых препаратов.
7. Применение ферментов в синтезе полимеров.

8. Катализаторы синтеза биоразлагаемых полимеров.
9. Катализаторы катионной полимеризации.
10. Катализаторы синтеза полиуретанов.
11. Полупроводниковые катализаторы.
12. Катализаторы на основе ферритов.
13. Катализаторы синтеза углеводов из метанола
14. Каталитический крекинг углеводов.
15. Каталитическое гидрирование металлами: гидрирование жиров.
16. Синтез Фишера-Тропша.
17. Каталитический конвертер. Катализатор трёх путей.
18. Фотокатализ: основные понятия и типы катализаторов.
20. Электрокатализ: основные понятия и типы катализаторов
21. Цеолит Y (тип FAU) и его модификация: применение в процессе каталитического крекинга и гидрокрекинга углеводородных фракций; алкилирования ароматических углеводородов.
22. Катализаторы фирмы «UOP» (алюмоплатиновые катализаторы) и «Mobil Oil Corp.» (на основе цеолита ZSM-5) в процессах получения п-ксилола.
23. Катализаторы обезвреживания газовых выбросов предприятий, производящих азот и аммиак.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса также используется метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод), который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач и развития инновационной восприимчивости и способности к инновационной деятельности;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной проблеме курса и при подготовке доклада;
- выполнение домашнего задания.

Обучающиеся также могут использовать материалы созданного на портале [educhem.bsu.by](http://educhem.bsu.by) курса «Теория и практика катализа».

## Примерный перечень вопросов к зачету

1. Определение катализа и катализатора. Основные принципы катализа.
2. Классификации катализаторов и каталитических процессов.
3. Реакционный путь в присутствии катализатора. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.
4. Слитный и стадийный механизмы каталитических превращений. Промежуточные соединения в катализе.
5. Каталитический цикл.
6. Основные характеристики катализаторов: активность, селективность, стабильность.
7. Сравнение характеристик гомогенных и гетерогенных катализаторов.
8. Классификация гомогенных каталитических процессов.
9. Особенности гомогенного катализа в газовой фазе.
10. Особенности протекания каталитических реакций в растворах: клеточный эффект, взаимодействие с растворителем, реакции с участием ионов.
11. Солевые эффекты в катализе.
12. Принципы расчёта константы скорости реакции в жидкой среде при диффузионном ограничении процесса (взаимодействие нейтральных частиц, заряженных частиц).
13. Принципы расчёта константы скорости реакции в жидкой среде при кинетическом ограничении процесса (влияние ионной силы растворителя, диэлектрической постоянной среды).
- 14 Особенности кинетики специфического и общего кислотно-основного катализа.
15. pH-диаграммы Скрабала. Расчёт эффективной константы скорости кислотно-основного каталитического процесса.
16. Электрофильный катализ.
17. Нуклеофильный катализ.
18. Металлокомплексный катализ: основные элементарные стадии.
19. Правила и закономерности протекания элементарных стадий металлокомплексного катализа.
20. Примеры реакций, катализируемых комплексами металлов.
21. Окислительно-восстановительный гомогенный катализ в газовой фазе.
22. Окислительно-восстановительный гомогенный катализ в конденсированной фазе.
23. Автокатализ. Типы кинетических кривых участников реакции.
23. Колебательные реакции. Простейшие модели реакции Белоусова-Жаботинского.
24. Катализ межфазного переноса (КМФП). Основные типы межфазных границ и применяемых катализаторов.
25. Механизм реакций КМФП в нейтральных средах.
26. Практическое использование катализа МФП.
27. Мицеллярный катализ: определение и принципы каталитического действия.

28. Кинетические модели химических реакций  $n$ -го порядка в присутствии мицелл ПАВ.

29. Ферментативный катализ: определение, структурная организация ферментов и их классификация.

30. Активность ферментов и условия ее определения.

31. Кинетическая модель Михаэлиса-Ментен ферментативных реакций. Вывод уравнения Михаэлиса-Ментен.

32. Особенности планирования эксперимента для определения кинетических параметров ферментативной реакции.

33. Методы определения кинетических параметров ферментативных реакций, подчиняющихся модели Михаэлиса-Ментен.

34. Типы обратимого ингибирования ферментативных реакций.

35. Определение кинетических параметров обратимого конкурентного ингибирования.

36. Определение кинетических параметров обратимого неконкурентного ингибирования.

37. Определение кинетических параметров обратимого бесконкурентного ингибирования.

38. Особенности катализа твёрдыми катализаторами. Понятие активного центра гетерогенного катализатора.

39. Теории гетерогенного катализ.

40. Стадии гетерогенного каталитического процесса.

41. Методы определения скорость-лимитирующей стадии гетерогенно-каталитического процесса.

42. Макрокинетика гетерогенно-каталитических процессов. Внешне- и внутридиффузионная области гетерогенно-каталитической реакции.

43. Потенциальная кривая гетерогенной каталитической реакции. Энергия активации гетерогенно- каталитического процесса.

44. Роль адсорбции в гетерогенных каталитических процессах.

45. Адсорбция на энергетически однородной поверхности. Адсорбционная теория Лэнгмюра.

46. Нелэнгмюровские изотермы адсорбции.

47. Кинетические модели Лэнгмюра-Хиншельвуда и Риделя-Или гетерогенной каталитической реакции на границе газ-твёрдое тело.

48. Адсорбция на энергетически неоднородной поверхности.

49. Некоторые типы гетерогенных катализаторов: металлы и сплавы; оксиды и сульфиды переходных металлов; кислотно-основные катализаторы; цеолиты (молекулярные сита).

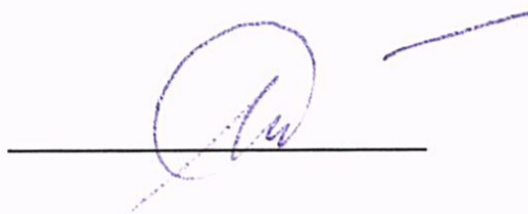
50. Области применения гетерогенных катализаторов:  
производство неорганических и органических веществ;  
нефтепереработка и нефтехимия;  
процессы преобразования энергии;  
катализ и проблемы экологии.



## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой физической химии  
и электрохимии  
доктор химических наук, профессор



Е.А.Стрельцов

19.06.2025

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_