

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт биотехнологии и химического инжиниринга

---

Кафедра фундаментальной и прикладной химии



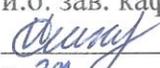
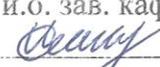
Вобликова Т.В.  
2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
учебной дисциплины  
Технология катализаторов

по направлению подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**

направленность (профиль)  
**Технология неорганических веществ**

СОГЛАСОВАНО  
Начальник отдела обеспечения  
деятельности ИБХИ  
  
Т.Н. Кондратьева  
« 05 » 06 2023 г.

Разработали  
доцент кафедры ФПХ  
 Петухова Е.А.  
« 29 » 05 2023 г.  
и.о. зав. кафедрой ФПХ  
 Исаков В.А.  
« 29 » 05 2023 г.  
Принято на заседании кафедры  
Протокол № 9 от « 31 » 05 2023 г.  
и.о. зав. кафедрой ФПХ  
 Исаков В.А.  
« 31 » 05 2023 г.

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины (модуля)

Цель освоения учебной дисциплины (модуля): формирование компетентности студентов в области производства и применения промышленных катализаторов, при решении профессиональных задач, владении нормами техники безопасности и умении реализовать их в лабораторных условиях.

Задачи:

- а) изучение теоретических физико-химических основ гомогенного и гетерогенного катализа, механизма каталитического действия
- б) изучение методов производства основных катализаторов, используемых в азотной промышленности, требования к ним, условия их эксплуатации, способы регенерации;
- в) приобретение навыков исследования промышленных катализаторов;
- г) приобретение навыков правильного выбора метода или методов для конкретного производства и его аппаратурное оформление.

## 2 Место учебной дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Учебная дисциплина (модуль) относится к вариативной части учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 18.03.01 – Химическая технология и профилю Технология неорганических веществ (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин (модулей, практик): «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Химическая технология». Освоение учебной дисциплины (модуля) является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения следующих дисциплин (модулей, практик): «Моделирование химико – технологических процессов», «Технология минеральных удобрений и солей»

## 3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины (модуля):

ПК – 1. Способен осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции, в том числе наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами;

ПК – 5. Организация работ по планированию качества выпускаемой организацией продукции, выполнения работ (услуг) в соответствии с требованиями стандартов и технических условий, утвержденными образцами (эталоны) и технической документацией, условиями поставок и др.

Результаты освоения учебной дисциплины:

<i>Код и наименование компетенции</i>	<i>Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)</i>		
ПК – 1. Способен осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции, в том числе	<b>Знать</b> принципы организации химического производства, свойства сырья и выпускаемой продукции; понятия теории управления	<b>Уметь</b> осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом; использовать технические средства для измерения	<b>Владеть</b> методами определения и моделирования технологических режимов работы оборудования, методами измерения основных параметров

наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами	технологическими процессами; аппаратное оснащение процессов химической технологии и методов их моделирования; особенности технологического процесса, регламента и технических средств, которые необходимы для контроля и управления технологическим процессом	основных параметров технологического процесса	технологического процесса; управления химико-технологическими системами и методами регулирования химико-технологических процессов
ПК – 5. Организация работ по планированию качества выпускаемой организацией продукции, выполнения работ (услуг) в соответствии с требованиями стандартов и технических условий, утвержденными образцами (эталоны) и технической документацией, условиями поставок и др.	<b>Знать</b> теоретические основы организации работ по планированию качества выпускаемой организацией продукции, выполнения работ (услуг) в соответствии с требованиями стандартов и технических условий, утвержденными образцами (эталоны) и технической документацией, условиями поставок и др.	<b>Уметь</b> разрабатывать план мероприятий по планированию качества выпускаемой организацией продукции, выполнению работ (услуг) в соответствии с требованиями стандартов и технических условий, утвержденными образцами (эталоны) и технической документацией	<b>Владеть</b> методами контроля реализации плана мероприятий по планированию качества продукции (услуг) и анализа национального и международного опыта в области планирования качества продукции (услуг)

#### 4 Структура и содержание учебной дисциплины (модуля)

##### 4.1 Трудоемкость учебной дисциплины (модуля)

###### 4.1.1 Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) для очной формы обучения:

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		5 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	4	4
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	56	56
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	88	88
5. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>

#### 4.1.2 Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) для заочной формы обучения:

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		9 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	4	4
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	16	16
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	128	128
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	зачет	зачет

#### 4.2 Содержание учебной дисциплины (модуля)

**УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора**

- 1.1 Общие сведения о катализе и катализаторах.
- 1.2. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.
- 1.3. Основы разработки и подбора катализатора

**УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов**

- 2.1. Важнейшие каталитические процессы и промышленные катализаторы в переработке природного сырья.
- 2.2. Производство катализаторов.

#### 4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины (модуля) и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)				Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная		В т.ч.			
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	СРС		
<i>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</i>							
1.1	Общие сведения о катализе и катализаторах.	5	5	-	1	18	Контрольная работа
1.2.	Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.	5	8	-	2	18	Контрольная работа
1.3.	Основы разработки и подбора катализатора	8	5	-	1	18	Контрольная работа
<i>УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов</i>							
2.1.	Важнейшие каталитические процессы и промышленные катализаторы в переработке природного сырья.	5	5	-	2	17	Контрольная работа
2.2.	Производство катализаторов	5	5	-	2	17	Контрольная работа
	Промежуточная аттестация	зачет					
	<b>ИТОГО</b>	28	28	-	8	88	

#### 4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

Не предусмотрены учебным планом

## 5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины (модуля)

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
<i>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</i>		
1	Основные причины каталитического действия. Основные задачи теории и практики приготовления катализатора. (лекция - презентация)	1
2.	Гомогенный катализ в газовой фазе. Гомогенный катализ кислотами и основаниями в растворе. (лекция - презентация)	2
3.	Гетерогенный катализ твердыми катализаторами. (лекция - презентация)	1
4.	Катализ металлами. (лекция - презентация)	2
5	Подбор катализатора и оценка скорости реакции с его участием. (лекция - презентация)	2
6	Проблемы определения каталитической активности гетерогенного катализатора. (лекция - презентация)	2
7	Устойчивость катализаторов процессу рекристаллизации. (лекция - презентация)	3
8	Металлические катализаторы: химический состав, кристаллическая решетка. Подбор катализаторов. (лекция - презентация)	5
<i>УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов</i>		
1	Основные промышленные каталитические процессы. (лекция - презентация)	2
2	Каталитические процессы в нефтепереработке. (лекция - презентация)	2
3	Природоохранные каталитические технологии. (лекция - презентация)	1
4	Основные компоненты катализатора. (лекция - презентация)	1
5	Синтез катализаторов. (лекция - презентация)	2
6	Деактивация катализаторов. (лекция - презентация)	2
<b>ИТОГО</b>		<b>28</b>

Средствами проведения занятий являются голосовые сообщения преподавателя, презентации по темам, интерактивные средства, учебные фильмы. Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо пользоваться основной литературой и дополнительной литературой, электронными ресурсами в соответствии с картой учебно-методического обеспечения дисциплины (Приложение Б). Результаты самостоятельной работы оформляются в виде конспекта лекций или реферата. Контроль по изучению теоретической части модуля осуществляется методом проведения контрольных работ по объединённым темам (Приложение А)

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
<i>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</i>		
1.	Модели каталитического действия (работа в группе)	9
2.	Принципы расчетов каталитических реакторов (работа в группе)	9
<i>УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов</i>		
1.	Гетерогенно - каталитические процессы (работа в группе)	5
2.	Проблемы определения каталитической активности гетерогенного катализатора (работа в группе)	5
<b>ИТОГО</b>		<b>28</b>

## 6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины (модуля)

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

## 7 Условия освоения учебной дисциплины (модуля)

### 7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины (модуля) представлено в Приложении Б.

### 7.2 Материально-техническое обеспечение

<i>№</i>	<i>Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО</i>	<i>Наличие материально-технического оборудования</i>
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска) компьютерный класс с выходом в Интернет, в том числе для проведения практических занятий
2.	Мультимедийное оборудование	проектор, компьютер, экран, интерактивная доска
3.	Программное обеспечение	
Наименование программного продукта	Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
Антиплагиат. Вуз. *	Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
MS Office 365	Безвозмездно передаваемое ВУЗам	-
Adobe Acrobat	свободно распространяемое	-
Teams	свободно распространяемое	-
Skype	свободно распространяемое	-
Zoom	свободно распространяемое	-
«Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Education Renewal. 250-499 Node I year License» /1 год *	Договор №158/ЕП(У)22-ВБ	21.09.2022

\* отечественное производство

Приложение А  
(обязательное)  
**Фонд оценочных средств**  
**учебной дисциплины Технология катализаторов**

### 1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть – общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть – фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

### 2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Контрольная работа № 1	<b>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</b> 1.1 Общие сведения о катализе и катализаторах.	40	ПК -1
2	Контрольная работа № 2	<b>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</b> 1.2 Термодинамические и кинетические аспекты в катализе.	40	ПК -1
3	Контрольная работа № 3	<b>УЭМ 1. Общие сведения о катализе и катализаторах. Термодинамические и кинетические аспекты в катализе. Основы разработки и подбора катализатора</b> 1.3 Основы разработки и подбора катализатора	40	ПК - 5
4	Контрольная работа № 4	<b>УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов</b> 2.1 Важнейшие каталитические процессы и промышленные катализаторы в переработке природного сырья.	40	ПК - 5
5	Контрольная работа № 5	<b>УЭМ 2. Важнейшие каталитические процессы в переработке природного сырья. Промышленные катализаторы. Производство катализаторов</b> 2.2 Производство катализаторов	40	ПК -1 ПК - 5
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Зачет		-	
	<b>ИТОГО</b>		200	

### 3 Рекомендации к использованию оценочных средств

#### Контрольная работа

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Количество правильных ответов	4	5

#### Пример контрольной работы № 1

##### Вариант № 1

1. Древнейшим известным каталитическим процессом можно считать:  
А) Процесс брожения виноградной массы  
Б) Превращения спирта в эфир под действием (виноделие) “купоросного масла”  
В) Превращение спирта в “маслородный газ”  
Г) Получение фруктовой эссенции из спирта и глиняной трубке уксуса в присутствии глины
2. Какой вариант механизма реакции превращения  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  на воздухе в присутствии  $\text{NO}_2$  был предложен Дезормом для объяснения протекания данной реакции?  
А)  $\text{NO}_2$  окисляется  $\text{O}_2$  до  $\text{N}_2\text{O}_5$ , после чего окисляет  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ , превращаясь обратно в  $\text{NO}_2$   
Б)  $\text{NO}_2$ , взаимодействуя с  $\text{O}_2$  и двумя молекулами  $\text{SO}_2$ , образует сложный комплекс, который распадается на  $\text{NO}_2$  и 2 молекулы  $\text{SO}_3$   
В)  $\text{NO}_2$  окисляет  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ , превращаясь в  $\text{NO}$   
Г)  $\text{NO}_2$  восстанавливается до  $\text{N}_2$ , окисляя  $\text{SO}_2$ , после чего  $\text{N}_2$ , взаимодействуя с  $\text{O}_2$  снова образует  $\text{NO}_2$
3. Что означает Катализ в переводе с латинского?  
А) Разрушение  
Б) Создание  
В) Безжизненный  
Г) Дающий жизнь
4. Современное феноменологическое определение катализа?  
А) Ускорение химических реакций в присутствии сторонних веществ  
Б) Возбуждение химических реакций или изменение их скорости под влиянием веществ – катализаторов, многократно вступающих в промежуточное химическое взаимодействие с участниками реакции и восстанавливающих после каждого цикла промежуточных взаимодействий свой состав
- В) Явление ускорения химических реакций  
Г) Явление запуска реакций при вводе в систему веществ, не являющихся реагентами
5. Как катализатор влияет на равновесный состав продуктов реакции?  
А) Увеличивает количество продуктов реакции  
Б) Уменьшает количество продуктов реакции  
В) Никак не влияет  
Г) В случае простых систем никак не влияет. В случае возможности протекания множества параллельных реакций, возбуждает некоторые из них, не влияя на равновесный состав продуктов, рассчитанный по этим реакциям
6. С точки зрения электронного строения молекул некоторые реакции запрещены по симметрии (правила Вудворда-Гоффмана). Однако такие реакции удается проводить в присутствии катализаторов. Какие свойства катализаторов позволяют им катализировать запрещенные по симметрии реакции?  
А) Наличие ненулевого электронного спина некоторых катализаторов  
Б) Наличие у катализатора различных по симметрии орбиталей, взаимодействие орбиталей реагентов с которыми позволяет перекачивать электроны между реагентами

В) Наличие парамагнитных свойств у некоторых Г) Наличие избыточной поверхностной энергии катализаторов

7. По классификации состояния активного компонента в катализаторе выделяют следующие типы катализаторов:

А) Газ, жидкость, кристаллы, аморфный      Б) Металлический, оксидный, сульфидный  
В) Массивный, нанесенный, закрепленный      Г) Однокомпонентный, Многокомпонентный

8. Что понимают под понятием число оборотов активного центра?

А) Каталитическую активность, отнесенную к массе катализатора      Б) Каталитическую активность, отнесенную к объему катализатора  
В) Каталитическую активность, отнесенную к величине удельной поверхности катализатора      Г) Каталитическую активность, отнесенную к числу активных центров

9. Что такое энантиоселективность?

А) Отношение количества целевых продуктов к суммарному количеству продуктов реакции прореагировавших веществ с соответствующими стехиометрическими коэффициентами      Б) Доля определенного геометрического изомера в продуктах реакции

В) Доля определенного оптического изомера      Г) Доля целевого соединения в продуктах реакции

10. Введение  $\text{NO}_2$  в смесь  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$  приводит к значительному увеличению скорости окисления водорода. Как введение  $\text{NO}_2$  отражается на энергетических характеристиках отдельных стадий реакции?

А) Снижается энергия активации стадии инициирования      Б) Снижается энергия активации стадии с самым большим энергетическим барьером

В) Теплота реакции распределяется по стадиям      Г) Все вышеперечисленное

более равномерно, наблюдается равномерное падение энергии интермедиатов

11. За счет какого фактора в случае гомогенного катализа в газовой фазе происходит увеличение скорости реакций?

А) За счет увеличения энтропийного фактора в уравнении скорости реакции      Б) За счет снижения энтропийного фактора в уравнении скорости реакции

В) За счет снижения энергии активации стадии самым большим энергетическим барьером      Г) За счет снижения энергии продуктов реакции

12. Рассматриваются три возможных пути влияния растворителя на скорость химических реакций в жидких средах: влияние среды как диэлектрического континуума, влияние среды как сольватационной “шубы”, координация молекул растворителя как лигандов. Какой из этих эффектов может оказывать наибольшее влияние на скорость реакции между двумя молекулами реагентов (скорость сравнивают со скоростью такой же реакции в газовой фазе)?

А) Влияние среды как диэлектрического континуума      Б) Влияние среды как сольватационной “шубы”

В) Координация молекул растворителя как лигандов      Г) Влияние всех эффектов обычно примерно одинаково

13. Упрощенно механизм гетерогенной каталитической реакции  $A \rightarrow P$  можно описать следующей последовательностью стадий: физическая адсорбция А, химическая адсорбция А, перегруппировка химически адсорбированного А в химически адсорбированное Р, переход химически адсорбированного Р в физически адсорбированное Р, десорбция физически адсорбированного Р. Какое максимальное число энергетических барьеров имеет энергетический профиль такой реакции?

А) 1      Б) 2  
В) 3      Г) 5

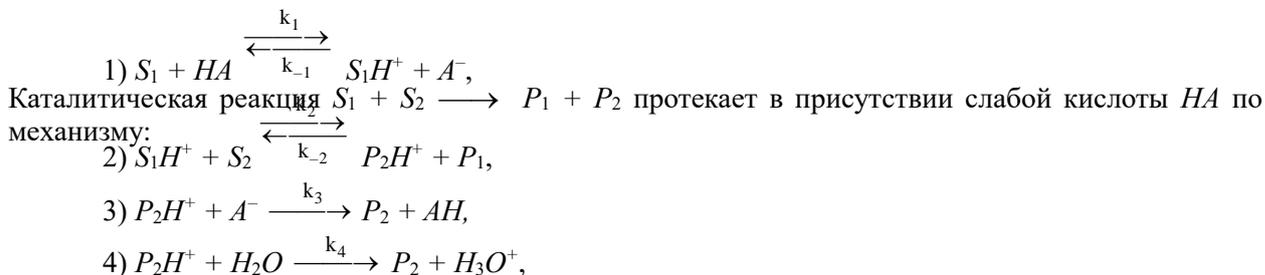
14. В качестве катализаторов селективного окисления в промышленности обычно используются:

А) Твердые гетерогенные катализаторы      Б) Гомогенные катализаторы в жидкой фазе

В) Гомогенные катализаторы в газовой фазе      Г) Ферменты

## Пример контрольной работы № 2

### Вариант № 1



*H*

*O* Известно, что реакция лимитируется стадиями депротонирования продукта реакции, а стадии (1), (2), и (5) являются быстрыми и равновесными.

Каким (общим или специфическим) является катализ данной реакции кислотой  $HA$ , если:

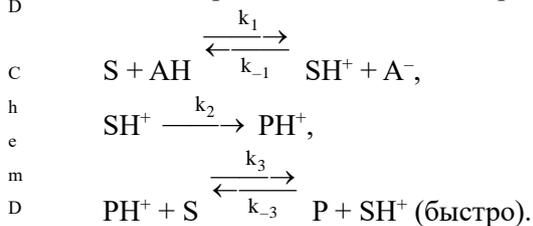
а) стадия (3) протекает значительно быстрее, чем стадия (4);

б) стадия (4) протекает значительно быстрее, чем стадия (3)?

М Ответ обоснуйте для обоих случаев.

В 2. Выведите выражение, связывающее кислотность среды  $h_0$  и скорость  $W_{\text{кат}}$  каталитической реакции  $S \xrightarrow{AH} P$ , протекающей в сильнокислотной среде по механизму

*D*



*D*

*r*

*a*

*w*

*.*



Кислотный катализ. Каталитическая реакция  $B \longrightarrow P$  протекает согласно механизму

*o*  $P$

*H* Определите зависимость наблюдаемой константы скорости реакции от кислотности среды

*u*

*п* 3. Каталитическая реакция синтеза  $C_6H_5COOC_6H_5$  по методу Фриделя – Крафтса  
*e* осуществляется в присутствии  $AlCl_3$  по механизму

*B*

*t*

*E*

*M*

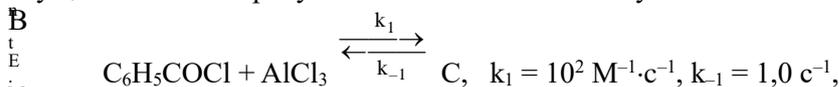
*6*

*B*

*E*

*0*

*o*



При  $[C_6H_5COCl] = [C_6H_6] = 10^{-2} \text{ M}$  и  $[AlCl_3]_0 = 10^{-3} \text{ M}$  начальная скорость реакции образования  $C_6H_5COOC_6H_5$  была определена равной  $5 \cdot 10^{-4} \text{ M} \cdot \text{c}^{-1}$ . Во сколько раз возрастает скорость реакции при увеличении в 10 раз концентрации: а)  $C_6H_5COCl$ ; б)  $C_6H_6$  в)  $AlCl_3$ ?

4. Гидролиз уксусного ангидрида  $(CH_3CO)_2O$  катализируется как гидроксил-анионом  $OH^-$ :



так и ионом гидроксония  $H_3O^+$ :

*H*

*O*

*w*

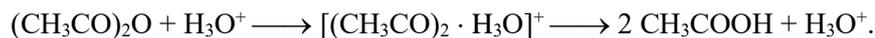
*D*

*o*

*c*

*u*

*m*



Эффективная константа кислотного гидролиза равна  $7 \cdot 10^{-3} \text{ M}^{-1}\text{c}^{-1}$ .

При каком рН водного раствора уксусный ангидрид будет наиболее устойчив?

### Пример контрольной работы № 3

#### Вариант № 1

1. Пероксид водорода, начальная концентрация которого  $25,4 \text{ моль/дм}^3$ , каталитически разлагается. Через 10 мин в растворе остаётся  $13,4 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$ , через 20 мин  $7,08 \text{ моль/дм}^3$ , а через 30 мин  $3,81 \text{ моль/дм}^3$ . Определите порядок реакции и рассчитайте константу скорости реакции.

2. Найти константу скорости реакции при  $650^\circ\text{C}$ , если энергия активации реакции окисления диоксида серы до триоксида серы на железоксидном катализаторе равна  $184000 \text{ кДж/моль}$ . Константа скорости реакции при  $680^\circ\text{C}$  равна  $7,18 \text{ c}^{-1}$

3. Для реакции, протекающей по суммарному уравнению  $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{ж}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + \text{O}_2(\text{г})$ , получены следующие данные:  $E_{a1} = 75,3 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$  (для некаталитической реакции);  $E_{a2} = 56,5 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$  (для каталитической реакции в присутствии ионов

I-);  $\Delta U_0 = -191,78 \text{ кДж}$ . Рассчитайте отношение констант скоростей каталитического и некаталитического процессов для прямой реакции ( $k_{\text{кат}}/k_1$ ) при температуре  $298 \text{ K}$ . Рассчитайте отношение констант скоростей обоих процессов для обратной реакции ( $k^{-1}_{\text{кат}}/k^{-1}$ ) при той же температуре. Какой вывод можно сделать из полученных результатов?

4. Объясните, почему во многих случаях в присутствии катализатора уменьшается порядок реакции.

### Пример контрольной работы № 4

#### Вариант № 1

1. Предложите простейшую каталитическую схему для реакции



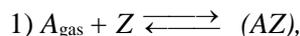
Исходя из предложенной схемы, покажите, что катализатор не смещает равновесия реакции. Может ли порядок этой реакции по веществу  $B$  зависеть от его концентрации?

2. Гетерогенно-каталитическая реакция  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Pt}} \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$  проводится в условиях непрерывного удаления продуктов реакции. Скорость реакции при низком давлении  $\text{CO}_2$  пропорциональна  $P_{\text{CO}_2}$ , а при высоком – обратно пропорциональна квадрату  $P_{\text{CO}_2}$ . Максимум скорости (при  $P_{\text{H}_2} = \text{const}$ ) наблюдается при  $P_{\text{CO}_2} = 200 \text{ торр}$ . В широком интервале давлений  $\text{H}_2$  скорость реакции пропорциональна  $P_{\text{H}_2}$ .

1. Найдите величину константы равновесия адсорбции  $\text{CO}_2$  на  $\text{Pt}$  в единицах  $\text{торр}^{-1}$ .

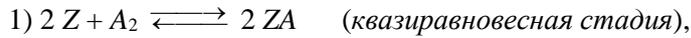
2. Выведите выражение для времени полупревращения при различных начальных давлениях  $P_{\text{H}_2}$  и  $P_{\text{CO}_2}$ .

3. Реакция  $2 A_{\text{gas}} \rightleftharpoons B_{\text{gas}}$  идёт по схеме



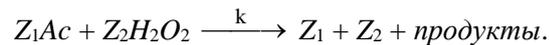
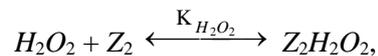
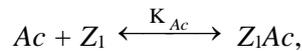
где  $Z$  – пустая ячейка поверхности. Установите соотношение между скоростями прямой и обратной реакции.

4. Каталитическая реакция  $A_2 + 2B = 2 AB$  протекает по механизму

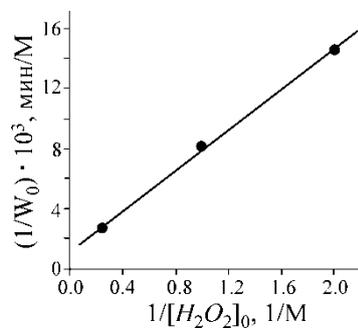


где  $Z$  – активный центр. Определите энергию активации стадии (2) и теплоту адсорбции  $A_2$ , если известно, что при порядках реакции по компоненту  $A_2$  равных 0,4 и 0,1 кажущиеся энергии активации реакции составляют 5 и 15 ккал/моль соответственно. Какой порядок будет наблюдаться по компоненту  $B$ ?

5. Окисление ацетона пероксидом водорода на железосодержащем катализаторе хорошо описывается механизмом Лэнгмюра – Хиншельвуда:



Ацетон и перекись водорода адсорбируются **на разных** центрах поверхности. Оцените константу равновесия  $K_{H_2O_2}$  для адсорбции  $H_2O_2$  на катализаторе по экспериментальной зависимости начальной скорости окисления ацетона от начальной концентрации  $H_2O_2$ .



## Пример контрольной работы № 5

### Вариант № 1

1 Степень использования внутренней поверхности катализатора равна 0,5. Размер пластинчатого зерна катализатора составляет 4 мм. Определить эффективный коэффициент диффузии и область протекания процесса при проведении каталитической реакции типа А - R с константой скорости  $0,14 \text{ с}^{-1}$ .

2. Каталитическая реакция типа А - R проводится на пластинчатых зернах катализатора размером 4 мм. Константа скорости равна  $1,90 \text{ с}^{-1}$ . Эффективный коэффициент диффузии равен  $0,05 \text{ см}^2/\text{с}$ .

Определить степень использования внутренней поверхности катализатора и область протекания процесса.

3. Определить изменение степени использования внутренней поверхности катализатора и скорости реакции при проведении реакции первого порядка типа  $A \rightarrow R$  при изменении температуры с 700 до 600 К и его формы с пластинчатой ( $2R_0 = 5$  мм) на таблетированную ( $2R_0 = 5$  мм,  $H = 1/3D$ ). Эффективный коэффициент диффузии равен  $0,02$  см<sup>2</sup>/с, константа скорости при 810<sup>0</sup>С равна  $3,20$  с<sup>-1</sup>, энергия активации данной реакции 36600 Дж/моль.

4. Определить изменение степени использования внутренней поверхности пористого катализатора и скорости реакции при проведении реакции первого порядка типа  $A \rightarrow R$ , если сферический катализатор диаметром 5 мм заменить пластинчатым с размером пластины  $2R_0 = 5$  мм). Эффективный коэффициент диффузии равен  $0,4$  см<sup>2</sup>/с, константа скорости при 700<sup>0</sup>С равна  $0,82$  с<sup>-1</sup>.

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Приложение Б  
(обязательное)  
**Карта учебно-методического обеспечения  
учебной дисциплины Технология катализаторов**

Таблица 1 – Основная литература\*

<i>Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)</i>	<i>Кол. экз. в библ. НовГУ</i>	<i>Наличие в ЭБС</i>
Печатные источники		
1 <b>Кондауров Б.П.</b> Общая химическая технология: Учебное пособие для вузов/ Б.П. Кондауров, В.И. Александров, А.В. Артемьев. – Москва: Академия, 2005. – 332,[2] с.: ил.-(Высшее профессиональное образование, Химическая технология).- Библиогр.:с.328.- ISBN: 5-7695-1792-1: (в пер.): 220.22.	5	
2 <b>Соколов Р.С.</b> Химическая технология: учеб. пособие для высш. учеб. заведений: в 2 т. Т.1: Химическое производство в антропогенной деятельности. Основные вопросы химической технологии. Производство неорганических веществ.— Москва: Владос, 2000.-336 с.- (Учебное пособие для вузов).- Библиогр.: с.335-337.- Прил.: с.358-364.- ISBN: 5-691-00355-0.- ISBN: 5-691-00356-9: (в пер.): 48.00.-46.00.-49.00.-50.00.	24	
3 <b>Соколов Р.С.</b> Химическая технология: учеб. пособие для высш. учеб. заведений: в 2 т. Т.2: Металлургические процессы. Переработка химического топлива. Производство органических веществ и полимерных материалов.— Москва: Владос, 2000.-447 с.- (Учебное пособие для вузов).-Библиогр.: с.443-444.- ISBN: 5-691-00355-0.- ISBN: 5-691-00357-7: (в пер.): 49.00.-46.00.-50.00.	24	
Электронные ресурсы		
1 Общая химическая технология: методические указания к практическим работам по курсу «Химическая технология» / Сост. Е.А. Петухова. – НовГУ им. Я. Мудрого. – В. Новгород. – 2014. – 88 с. URL.: <a href="https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1955">https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1955</a>		+

Таблица 2 – Дополнительная литература

<i>Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)</i>	<i>Кол. экз. в библ. НовГУ</i>	<i>Наличие в ЭБС</i>
Печатные источники		
1 <b>Бесков В.С.</b> Общая химическая технология: учеб. для вузов. - Москва: Академкнига,2006. - - 452,[2] с.: ил.-Библиогр.:с.446.- ISBN: 5-94628-149-6. - ISBN: 978-5-946-28149-2.: (в пер.): 295.00.	2	
Электронные ресурсы		
1 <b>Игнатенков, В. И.</b> Общая химическая технология: теория, примеры, задачи: учебное пособие для вузов / В. И. Игнатенков. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 195 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09222-6. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <a href="https://urait.ru/bcode/489904">https://urait.ru/bcode/489904</a>		Юрайт



Таблица 3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
<b>Профессиональные базы данных</b>		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» <a href="https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/">https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/</a>	Договор от 17.12.2014 № БТ-46/11	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки <a href="http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/">http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/</a>	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) <a href="http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/">http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/</a>	База собственной генерации	бессрочный
ЭБС «Электронная библиотечная система Новгородского государственного университета» (ЭБС НовГУ). Универсальный ресурс. Внутривузовские издания НовГУ.	Договор № 230 от 30.12.2022 с ООО «КДУ»	бессрочный
ЭБС «Лань» Единая профессиональная база данных для классических вузов – Издательство Лань «ЭБС» ЭБС ЛАНЬ	Договор от 23.12.2022 № 28/ЕП(У)22 с ООО «Издательство ЛАНЬ»	01.01.2023-31.12.2023
ЭБС «ЛАНЬ» Универсальный ресурс	Договор от 09.11.2020 № СЭБ НВ–283 с ООО «ЭБС ЛАНЬ»	09.11.2020 - 31.12.2023
«ЭБС ЮРАЙТ <a href="http://www.biblio-online.ru">www.biblio-online.ru</a> » Универсальный ресурс.	Договор от 23.12.2022 № 25/ЕП(У)22 с ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ»	01.01.2023 - 31.12.2023
«Национальная электронная библиотека» Универсальный ресурс.	Договор от 14.03.2022 № 101/НЭБ/2338-п с ФБГУ «Российская Государственная библиотека»	14.03.2022 - 14.03.2027
Президентская библиотека им. Б. Н. Ельцина <a href="https://www.prlib.ru/">https://www.prlib.ru/</a>	в открытом доступе	-
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>	в открытом доступе	-
База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <a href="http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/">http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/</a>	в открытом доступе	-
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» <a href="https://нэб.рф">https://нэб.рф</a>	в открытом доступе	-
<b>Информационные справочные системы</b>		
Университетская информационная система «РОССИЯ» <a href="https://uisrussia.msu.ru">https://uisrussia.msu.ru</a>	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <a href="https://openedu.ru">https://openedu.ru</a>	в открытом доступе	-
Справочно-правовая система КонсультантПлюс (КонсультантПлюс студенту и преподавателю) <a href="http://www.consultant.ru/edu/">www.consultant.ru/edu/</a>	в открытом доступе	-

И.о. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Исаков  
« 31 » \_\_\_\_\_ 05 \_\_\_\_\_ 2023 г.

