

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор, проректор по УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

«21» 02 2023 года

## Рабочая программа дисциплины

**2.1.8.2(Ф)** Каталитические процессы в химической технологии

Учебный план: 2023-24 уч.год 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий ИХПЭ 2023 ОО.plx

Кафедра: **18** Инженерной химии и промышленной экологии

Научная специальность: 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Уровень образования: аспирантура

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоём- кость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
5	УП	21	42	45	3	Зачет
	РПД	21	42	45	3	
Итого	УП	21	42	45	3	
	РПД	21	42	45	3	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 № 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)"

Составитель (и):

доктор технических наук, Профессор

Витковская Раиса  
Федоровна

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и  
промышленной экологии

Бусыгин Николай Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Бусыгин Николай Юрьевич

Методический отдел:

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** формирование у аспирантов углубленных знаний о научных основах приготовления катализаторов и механизмах его использования на современном уровне, но и раскрытие перед будущими специалистами, научными работниками и практиками значимости проблемы и перспектив ее в постиндустриальной эпохе XXI века, включая тонкую химию, химическую технологию органических и неорганических веществ, биокатализ и др. Эти знания необходимы при подготовке аспирантов по специальности 2.6.13 – «Процессы и аппараты химических технологий» для повышения общего научного уровня, независимо от направления диссертационного исследования

### 1.2 Задачи дисциплины:

– сформировать у аспирантов представление о современных перспективах развития материалов, процессов и технологий в области катализа, методах синтеза новых катализаторов и анализа технологических схем с учетом их применения для энерго- и ресурсосбережения, охраны окружающей среды.

– подготовить аспирантов к всестороннему анализу инженерных решений с позиции физикохимии процесса, технологии аппаратного оформления, методов контроля и оценки экономического обоснования.

### 1.3 Место дисциплины в структуре программы аспирантуры:

Дисциплина относится к Образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Знания и умения, полученные аспирантами при изучении данной дисциплины, необходимы при подготовке к сдаче кандидатского экзамена и написании диссертационной работы

Современные информационные технологии в научной деятельности

Методология проведения исследования и методика написания диссертации

Правовые основы защиты интеллектуальной собственности

Автоматизированные системы обработки экспериментальных данных

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Знать:** о современных методах получения материалов с каталитическими свойствами, системах, в которых они используются в области химической технологии, перспективах развития методов и процессов в том числе для энерго- ресурсосбережения и охраны окружающей среды

**Уметь:** критически анализировать современные научные публикации по предложенным техническим решениям экологических проблем и применять новые подходы при выполнении диссертационной работы.

**Владеть:** навыками практического применения материалов с каталитическими свойствами для технологических процессов.

## 3 СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Катализ, введение и основные понятия.	5				С,
Тема 1. Понятие о химической кинетике, путях проведения реакции, константах скорости, порядке реакции и энергии активации.		1		2	
Тема 2. Классификация катализаторов и типы каталитических систем. Гомогенный и гетерогенный катализ. Практическое занятие "Исследование кинетики каталитического разложения пероксида водорода на гомогенных и гетерогенных катализаторах".		2	4	3	
Тема 3. Механизмы действия катализаторов. Окислительно-восстановительные катализаторы. Роль соединений переходных металлов в катализе. Практическое занятие "Изучение кинетики разложения этилацетата на щелочном катализаторе".		2	4	3	

Тема 4. Роль катализаторов в становлении современной промышленности. Практическое занятие "Изучение научных основ теории катализа, понятие о каталитическом центре, внешне -, внутренне-диффузионной и кинетической области протекания процесса".	1	4	3	
Раздел 2. Структура гетерогенных катализаторов				
Тема 5. Основы приготовления катализаторов. Практическое занятие "Изучение процесса окисления красителей на волокнистом катализаторе".	1	4	3	
Тема 6. Типы подложек – носителей катализаторов и их приготовление. Практическое занятие "Изучение процесса приготовления гетерогенного катализатора на стекловолокнистой подложке".	2	4	3	,С
Тема 7. Методы нанесения каталитических слоёв на подложки.	2		4	
Раздел 3. Физико-химические методы исследования катализаторов				,С
Тема 8. Изучение морфологии, дисперсности, химического состава, фазового состава, текстурных характеристик, площади поверхности. Практическое занятие "Изучение элементного состава образцов гетерогенных катализаторов рентгено-флуоресцентным методом".	2	4	4	
Тема 9. Изучение механических свойств катализаторов. Практическое занятие "Изучение процесса окисления сульфидов на волокнистом катализаторе".	1	6	3	
Тема 10. Изучение химических свойств катализаторов. Интегральные и дифференциальные методы исследования, схемы проточно-циркуляционных установок.	2		4	
Раздел 4. Применение катализаторов в процессах очистки газовых и жидких сред от загрязнений.				
Тема 11. Схемы применения окислительно-восстановительного катализа для очистки сточных вод и газовых выбросов от различных токсикантов. Практическое занятие "Изучение процесса деструкции органических веществ на стекловолокнистом катализаторе".	1	6	4	,С
Тема 12. Механизмы активации кислорода в водных растворах.	1		3	
Раздел 5. Совмещенные каталитические процессы и расчет каталитических аппаратов				
Тема 13. Взаимодействие пероксида водорода с ионами переходных металлов и их соединениями.	1		3	С,
Тема 14. Методы расчёта каталитических установок. Практическое занятие "Изучение процесса окисления сульфита натрия на гомогенных и гетерогенных катализаторах".	2	6	3	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	21	42	45	

Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		63	45	

#### 4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 4.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

###### 4.1.1 Показатели оценивания

Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
Раскрывает методологию получения каталитически активных материалов, их текстурные характеристики и свойства.	Вопросы к зачету

Обосновывает выбор метода получения катализатора с заданными свойствами. Анализирует методы и приборное оборудование для определения характеристик катализаторов.	Практико-ориентированные задания
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

###### 4.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся твердо знает материал дисциплины, грамотно и по существу излагает его, владеет профессиональной терминологией, показывает умение работать с основной и дополнительной литературой, своевременно выполнил и защитил лабораторные работы.	
Не зачтено	Обучающийся не владеет материалом дисциплины, профессиональной терминологией, допускает принципиальные ошибки при ответе на вопросы, не приобрел необходимые умения и навыки, не выполнил в полном объеме лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой.	

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

###### 4.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 5	
1	Понятие о скорости химической реакции. Путь химической реакции. Основное уравнение химической кинетики, константа скорости, порядок реакции и энергия активации.
2	Катализаторы, определения, механизмы действия катализаторов. Понятие о промежуточном комплексе субстрат – катализатор.
3	Типы катализаторов и каталитических реакций. Гетерогенный и гомогенный катализ, особенности, преимущества, недостатки.
4	Роль переходных металлов и их соединений в окислительно-восстановительном катализе.
5	Примеры каталитических процессов в промышленности.
6	Структура гетерогенного катализатора, понятие о носителе и каталитическом слое. Требования к носителям.
7	Известные способы нанесения каталитических слоёв на инертный носитель. Сравнение, преимущества, недостатки.
8	Носители катализаторов, применяемые в технике, сравнение, преимущества, недостатки.
9	Способы изучения формы, дисперсности катализаторов, ртутная порометрия
10	Способы определения поверхности гетерогенного катализатора. Сорбционные методы.

11	Исследование фазового состава и текстурных характеристик катализаторов. Рентгеновские, ультразвуковые, микроскопические способы.
12	Основные физико-химические способы изучения химического состава катализаторов.
13	Механические свойства катализаторов, прочность, упругость, твёрдость и способы их определения.
14	Методы исследования химической стойкости гетерогенных катализаторов.
15	Понятие о химической активности, селективности катализаторов.
16	Способы определения химической активности катализаторов. Дифференциальные и интегральные проточные и проточно-циркуляционные реакторы, достоинства и недостатки.
17	Понятие о каталитических ядах. Химическая природа и механизм действия веществ, блокирующих каталитическое действие. Способы борьбы с каталитическими ядами.
18	Роль окислительно-восстановительного катализа в промышленности. Схемы его применения для очистки жидкостей и газов от загрязнителей. Преимущества каталитической схемы очистки.
19	Кислород, как агент жидкофазного окисления. Растворимость кислорода в воде, механизмы активации растворённого кислорода.
20	Пероксид водорода, как окислитель. Его химические свойства, неустойчивость, основные пероксидные ионы и радикалы. Механизмы взаимодействия пероксида водорода с переходными металлами.
21	Особенности процессов окисления органических соединений пероксидом водорода в присутствии катализаторов.
22	Основные загрязнители промышленных газовых выбросов, поддающиеся очистке каталитическим способом.
23	Химический состав выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания.
24	Расчёт каталитического блока обезвреживания выхлопных газов.
25	Основные загрязнители промышленных сточных вод, которые могут быть удалены каталитическим методом.
26	Расчёт каталитической установки каталитического окисления пероксидом водорода красителей в сточной воде текстильного предприятия.

#### 4.2.2 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Для элементарной газофазной реакции  $H_2 + Ar \rightarrow 2H + Ar$  значение константы скорости при 3000 К равно  $2,2 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . Определите скорость этой реакции, если известны концентрации  $[H_2]=4,1 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ,  $[Ar] = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ М}$ . При каком значении концентрации аргона скорость реакции увеличится вдвое?

2. Необходимо определить при температуре 273 К константу скорости реакции, энергия активации которой равна  $160 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ . С какой допустимой погрешностью следует осуществить измерение температуры, чтобы получить значение константы скорости с точностью до 2 %?

3. При иницировании фотохимической реакции необходимая для возбуждения энергия равна  $126 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ . Определите численные значения величин, соответствующих этой энергии: частота света; волновое число, длина волны, нм.

4. Присутствие катализатора позволяет уменьшить энергию активации химического процесса, реализуемого при температуре  $500^\circ\text{C}$ , от 50 до 35 кДж. Покажите :

а) во сколько раз увеличится скорость каталитической реакции по сравнению с некаталитической, полагая, что все другие факторы скорости реакции остаются неизменными;

б) при какой температуре каталитическая реакция протекала бы с такой же скоростью, что и некаталитическая при  $500^\circ\text{C}$ ; какие преимущества дает использование катализатора.

#### 4.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

##### 4.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

##### 4.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

##### 4.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- время на подготовку к устному собеседованию составляет 30 минут;
- выполнение практико-ориентированного задания составляет 30 минут.

### 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 5.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				

Грызунова, Н. Н., Болдырев, Д. А.	Физика и металловедение материалов с повышенной каталитической активностью	Москва, Вологда: Инфра-Инженерия	2022	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/123905.html">https://www.iprbooks.hop.ru/123905.html</a>
Комаров В.С.	Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры	Москва: Инфра-М	2016	<a href="https://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=355852">https://ibooks.ru/reading.php?short=1&amp;productid=355852</a>
Журавлева, М. В., Климентова, Г. Ю., Зиннурова, О. В., Гончарова, И. Н., Фирсин, А. А.	Каталитические процессы нефтехимии и нефтепереработки	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2019	<a href="http://www.iprbookshop.ru/100689.html">http://www.iprbookshop.ru/100689.html</a>
Булидорова, Г. В., Романова, К. А., Галяметдинов, Ю. Г.	Кинетика гетерогенных и каталитических реакций	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2017	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/79302.html">https://www.iprbooks.hop.ru/79302.html</a>
Исакова, И. В.	Катализ в химической технологии неорганических веществ	Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева	2021	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/116563.html">https://www.iprbooks.hop.ru/116563.html</a>
Харламова, Т. С., Водянкина, О. В.	Методы исследования каталитических свойств гетерогенных катализаторов	Томск: Издательский Дом Томского государственного университета	2017	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/109038.html">https://www.iprbooks.hop.ru/109038.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Витковская Р. Ф., Петров С. В.	Каталитические процессы в защите окружающей среды. Лабораторный практикум	СПб.: СПбГУПТД	2017	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017100">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017100</a>
Солодова, Н. Л., Емельянычева, Е. А., Терентьева, Н. А.	Каталитические процессы нефтепереработки	Казань: Издательство КНИТУ	2020	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/120990.html">https://www.iprbooks.hop.ru/120990.html</a>
Панов В. П., Витковская Р. Ф.	Адсорбционно-каталитические процессы в защите окружающей среды	СПб.: СПбГУПТД	2013	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1762">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1762</a>
Горбачев, С. А., Осовская, И. И.	Диоксид титана. Повышение его фотокаталитической активности	Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна	2019	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/102511.html">https://www.iprbooks.hop.ru/102511.html</a>

## 5.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Министерство экономического развития Российской Федерации. Федеральная государственная информационная система территориального планирования [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru/>

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

## 5.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional

Microsoft Windows

## 5.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду