

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Институт химии

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института химии  
д.х.н., профессор Федотова О.В.

  
"23" 08 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Промышленный катализ и технология катализаторов**

Направление подготовки  
18.03.01 – Химическая технология


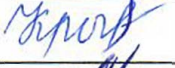

Профиль подготовки  
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных  
материалов

Квалификация (степень) выпускника

*Бакалавр*

Форма обучения  
*очная*

Саратов,  
2018

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Ромаденкина Светлана Борисовна		30.08.18
Председатель НМК	Крылатова Яна Георгиевна		30.08.18
Заведующий кафедрой	Кузьмина Раиса Ивановна		30.08.18
Специалист Учебного управления			

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Промышленный катализ и технология катализаторов» является формирование у студентов компетенций, связанных с пониманием теоретических основ катализа, на использовании которого базируются многие крупномасштабные нефте- и газоперерабатывающие, органические и неорганические производства химической промышленности, для последующего применения полученных знаний и навыков при освоении дисциплин профиля «Общая химическая технология» и «Химическая технология топлива и углеродных материалов» и выполнения профессиональных задач, на основе умения планировать, организовывать свою деятельность, самостоятельно приобретать знания, используя различные источники информации.

Кроме того целью данной дисциплины является формирование способностей к приобретению новых знаний в области промышленного катализа и технологии катализаторов.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «Промышленный катализ и технология катализаторов» является дисциплиной по выбору и относится к вариативной части блока «Дисциплины» (шифр Б1.В.ДВ:7) по направлению подготовки 18.03.01-Химическая технология.

Обучение базируется главным образом на знаниях, полученных студентами в процессе изучения следующих курсов: математики; аналитической химии и физико-химических методов анализа; физической химии; промышленной экологии; технологии нефтехимического и органического синтеза; современные технологии и экологический риск и охрана окружающей среды в нефтепереработке.

Рассматриваемая дисциплина неразрывно связана с дисциплинами «Общая химическая технология» и «Химическая технология топлива и углеродных материалов», даст возможность расширения знаний, умений и навыков, определяемых содержанием базовых (обязательных) дисциплин и позволяет студенту получить углубленные знания и навыки для успешной профессиональной деятельности и (или) для продолжения профессионального образования в магистратуре.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Промышленный катализ и технология катализаторов»**

В результате изучения дисциплины студент должен обладать следующей профессиональной компетенцией (ПК):

готовностью использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности (ПК-18);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

•*Знать:*

- теоретические основы современных методов исследования свойств материалов при приготовлении катализаторов.

•*Уметь:*

- выбирать методы приготовления катализаторов с заданными свойствами;
- выбирать и адаптировать методы исследования соединений и материалов для приготовления катализаторов.

•*Владеть*

- базовыми навыками получения и изучения химических свойств соединений различной природы для решения задач профессиональной деятельности.

Полученные в результате изучения данной дисциплины знания и навыки найдут применение в ходе изучения дисциплин «Общая химическая технология» и «Химическая технология топлива и углеродных материалов» и при подготовке квалификационной выпускной работы.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часов, 5 зачетных единиц.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се м е ст р	Неде ля семе стра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				ле кц ии	лаб . раб .	сре	
1.	Основные понятия в катализе.	5	1,2	2		4	
2.	Классификаций каталитических процессов.	5	3,4	2	4	6	Отчет по теме лабораторной работы.
3.	Проблема создания общей теории катализа	5	5,6	4	2	6	Отчет по теме лабораторной работы.
4.	Классификация носителей.	5	7,8	2	4	8	Отчет по теме лабораторной работы.
5.	Методы приготовления катализаторов.	5	9,10	6	10	12	Отчет по теме лабораторной работы.
6.	Катализ соединениями переходных металлов	5	11,12	4	-	8	Отчет по теме лабораторной работы.
7.	Плавленные и скелетные контактные массы.	5	13,14	4	-	6	Отчет по теме лабораторной работы.
8.	Цеолитные катализаторы.	5	15,16	4	8	10	Отчет по теме лабораторной работы.
9	Методы исследования катализаторов.	5	17,18	8	8	12	
	Итого часов:	5		36	36	72	Экзамен 36
	Итого:						180

## 4.1. Содержание лекционного курса

### **Тема 1. Общие положения катализа**

Основные определения. К истории катализа. Сущность и основные особенности катализа. Природа действия катализаторов.

### **Тема 2. Классификаций каталитических процессов.**

Основные стадии катализа. Требования, предъявляемые к катализаторам. Активность. Селективность. Устойчивость к каталитическим ядам. Промоторы. Отравления катализаторов.

### **Тема 3. Проблема создания общей теории катализа**

Теория ансамблей Кобозева. Теории катализа и их анализ. Мультиплетная теория катализа Баландина. Радикально-цепная теория гетерогенного катализа. Теория недостроенных оболочек для переходных металлов. Катализ на металлах и полупроводниках. Кислотно-основной катализ. Основы металлокомплексного катализа.

### **Тема 4. Классификация носителей.**

Неорганические и органические носители. Требования, предъявляемые к носителям. Способы получения оксида алюминия как одного из основных носителей. Активные центры катализатора. Каталитические и некаталитические пути реакции. Получение основного компонента катализатора осаждением гидроксидов. Способы нанесения активного компонента.

### **Тема 5. Методы приготовления катализаторов**

Способы приготовления катализаторов: нанесение, пропитка, смешение, прививка, золь-гель и т.д. Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура катализаторов. Форма и размер гранул катализаторов. Механическая прочность катализаторов. Дезактивация катализаторов.

### **Тема 6. Катализ соединениями переходных металлов**

Строение комплексов переходных металлов. Экспериментальные методы исследования атомов переходных металлов в оксидах. Применение теории кристаллического поля и теории поля лигандов к явлениям адсорбции и катализа. Поверхность оксидов переходных металлов. Имобилизованные комплексы переходных металлов. Каталитическая полимеризация олефинов. Реакции с участием координированного монооксида углерода.

### **Тема 7. Плавленные и скелетные контактные массы.**

Получения плавленных и скелетных катализаторов. Получения и свойства катализаторов Ni – Ренея и Ni –Бага. Процессы с их использованием. Достоинства и недостатки таких катализаторов.

### **Тема 8. Цеолитные катализаторы**

Типы цеолитных катализаторов. Способы получения. Свойства цеолитных катализаторов. Грануляция катализаторных масс. Формование пастообразных и порошкообразных масс. Дегидратация спиртов на цеолитных катализаторах.

### **Тема 9. Методы исследования катализаторов**

Методы определения каталитической активности. Исследование структуры катализаторов. Распределение пор по размерам. Методы определения поверхности катализатора. Методы определения пористости катализатора. Плотность катализатора. Термогравиметрический и фотокалориметрические методы.

## **5. Образовательные технологии**

При освоении дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- курс лекций сопровождается мультимедийными материалами (в программе Power Point);

- подготовлен инновационный учебный материал для практических и лабораторных занятий в формате видеороликов и интерактивных моделей; проведения вычислений, с помощью программы статистической обработки данных;

- лабораторные занятия предполагается осуществлять в форме деловых игр, с обсуждением различных вариантов осуществления поставленных задач, по тематике лабораторные работы будут привязаны к темам самостоятельной работы и позволят контролировать уровень самостоятельной подготовки студентов.

Обучающиеся инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья будут обеспечены печатными и электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Итоговая аттестация студентов с ограниченными возможностями проводится индивидуально, также для данных студентов увеличивается время подготовки для ответа.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Виды самостоятельной работы:

- составление опорных конспектов, различных видов таблиц (концептуальных, сравнительных), поиск информации в сети Интернет.

- разработка проектов (индивидуальных, групповых).

- изучение дополнительной литературы.

- перевод и критический анализ зарубежной или отечественной публикации по исследованию каталитических систем.

Система контроля самостоятельной работы включает:

- подготовку и защиту проектов с помощью мультимедийного проектора;

- решение практических проблемных ситуаций;

- тестовые задания (приложение);

- экзамен.

## Перечень лабораторных работ

1. Приготовление катализатора методом пропитки носителя.
2. Определение константы скорости реакции первого порядка.
3. Определение константы скорости гетерогенной реакции.
4. Определение порядка гомогенной химической реакции и зависимости ее скорости от концентрации катализатора.
5. Изучение скорости реакции омыления эфира и определение энергии активации.

## Учебный материал, вынесенный на самостоятельную работу студентов

### Вопросы для самостоятельной работы

1. Чем различаются определения скорости гомогенной и гетерогенной химических реакций?
2. Какие реакции называют простыми, формально простыми, сложными?
3. Как составляют кинетические уравнения простых реакций?
4. Как составляют кинетические уравнения сложных реакций: а) с известным механизмом реакции?
5. В чем заключается главная кинетическая особенность гетерогенных химических процессов?
6. Как увеличить коэффициент массопередачи на стадии внешней диффузии?
7. Сформулируйте основные свойства лимитирующей стадии.
8. Какие вещества называются катализаторами?
9. В чем заключается природа действия катализаторов?
10. Может ли катализатор сместить равновесие химической реакции?
11. Перечислите основные технологические характеристики твердых катализаторов и дайте их определения.
12. В чем суть рентгенофазового и термогравиметрического анализов?
13. Почему кажущаяся энергия активации каталитической реакции, как правило, ниже истинной энергии активации?
14. Роль каталитических процессов в насыщении рынка товарами химической промышленности.
15. Экологические проблемы и разработка новых катализаторов. Основные понятия и определения в катализе.
16. Термодинамика и энергетика каталитических процессов. Пути протекания процессов.
17. Классификация и выбор катализаторов. Промышленные гетерогенные катализаторы.
18. Характеристика типов адсорбции. Изотермы физической адсорбции. Теплота адсорбции.

19. Скорости и кинетические модели каталитических реакций.
20. Формальные кинетические модели. Ограничения кинетических моделей и некоторые примеры их применения.
21. Виды отравления катализаторов.
22. Определение физических характеристик катализаторов. Измерение удельной поверхности. Объем пор. Распределение пор по размерам. Ртутная порометрия. Механические свойства: предел прочности при сжатии и разрыве.
23. Нанесенные металлические катализаторы. Активность металлов. Дисперсность металлов.
24. Получение катализаторов методом спекания.
25. Кислотные и цеолитные катализаторы. Принципы появления кислотности. Сила кислотных центров. Корреляция между кислотностью и каталитической активностью.

### **Примеры экзаменационных вопросов по курсу «Промышленный катализ и технология катализаторов»**

1. Общие понятия о катализе и катализаторах. Классификация каталитических реакций и катализаторов. Основные характеристики катализаторов.
2. Расскажите в чем суть теорий катализа? Назовите основные положения теорий катализа.
3. Как влияет катализатор на энергию активации и скорость реакции? Адсорбция и хемосорбция в гетерогенном катализе и методы их исследования.
4. Стадии гетерогенного катализа. Влияние внешней и внутренней диффузии на скорость реакций.
5. Кислотный катализ. Кислотные центры и их участие в реакциях.
6. Окислительно-восстановительный катализ.
7. Металлические катализаторы. Теория валентной связи.
8. Промышленные гетерогенные катализаторы и их характеристики. Понятие об активном комплексе и матрице. Промомирование катализаторов.
9. Дезактивация катализаторов. Регенерация катализаторов.
10. Методы определения основных характеристик твердых катализаторов.
11. Краткая характеристика активной окиси алюминия, активных углей и аморфных алюмосиликатов.
12. Цеолиты, цеолитсодержащие катализаторы, их строение, химический состав, свойства.
13. Оксидные катализаторы и катализируемые ими реакции.
14. Синтез и производство активной окиси алюминия.
15. Синтез и производство цеолитов и цеолитсодержащих катализаторов.
16. Технология получения бифункциональных катализаторов.
17. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы. Природа действия катализаторов.



18. Применение физической адсорбции для определения величины поверхности катализаторов.
19. Требования, предъявляемые к катализаторам.
20. Весовой, объемный и динамический методы определения удельной поверхности катализатора.
21. Синтез катализаторов, носителей и адсорбентов, основанный на осаждении.
22. Основные методы определения пористости катализаторов.
23. Приготовление катализаторов методом механического смешения компонентов.
24. Определение активности катализаторов.
25. Адсорбционный метод определения радиуса пор катализаторов.
26. Методы приготовления катализаторов нанесением.
27. Пропиточные и сорбционные катализаторы. Влияние природы исходного соединения и носителя на активность катализаторов.
28. Плавленные и скелетные контактные массы. Цеолитные катализаторы.
29. Проточный, импульсный и безградиентный проточно-циркуляционный метод определения активности катализаторов.
30. Характеристики и способы производства важнейших носителей.
31. Классификация изотермы адсорбции. Метод БЭТ.
32. Оксидные катализаторы. Нанесенные оксидные катализаторы. Сложные многокомпонентные оксидные катализаторы регулярного строения. Нанесенные металлические и смешанные катализаторы.
33. Катализаторы на металлических носителях. Катализаторы на пористых монокристаллических керамических носителях.
34. Катализаторы глубокого окисления органических соединений.
35. Каталитические яды и их влияние на промышленные процессы.
36. Физико-химические методы исследования катализаторов (электронная микроскопия).
37. Физико-химические методы исследования катализаторов (рентгенофазовый анализ).
38. Физико-химические методы исследования катализаторов (масс-спектрометрия).
39. Физико-химические методы исследования катализаторов (ртутная порометрия).
40. Физико-химические методы исследования катализаторов (газожидкостная хроматография).
41. Физико-химические методы исследования катализаторов (термопрограммированная десорбция).
42. Физико-химические методы исследования катализаторов (термогравиметрия).
43. Основные методы приготовления катализаторов.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация (экзамен)	Итого
5	10	30	0	20	0	0	40	100

**Лекции – 10 баллов**, оцениваются посещаемость (3 балла), активность в аудитории (7 баллов)

**Лабораторные занятия 0 – 30 баллов**, оцениваются уровень подготовки к занятиям (10 баллов), самостоятельность при выполнении работы (10 баллов), правильность выполнения заданий (10 баллов).

**Самостоятельная работа – 20 баллов**, оцениваются качество выполненных домашних работ, правильность выполнения (15 баллов), грамотность в оформлении (5 баллов).

**Другие виды учебной деятельности не предусмотрены.**

**Промежуточная аттестация (экзамен) 40 баллов**, проходит в виде устного опроса: знание основных определений и законов (10 баллов), умение записать итоговые уравнения (15 баллов), анализ основных уравнений, пределы их применимости, практическая значимость (15 баллов)

при проведении промежуточной аттестации  
 ответ на «отлично» оценивается от 25 до 30 баллов;  
 ответ на «хорошо» оценивается от 19 до 24 баллов;  
 ответ на «удовлетворительно» оценивается от 13 до 18 баллов;  
 ответ на «неудовлетворительно» от 0 до 12 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «**Промышленный катализ и технология катализаторов**» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «**Промышленный катализ и технология катализаторов**» в оценку (экзамен):

85-100 баллов	«отлично»
70-84 баллов	«хорошо»
55- 69 баллов	«удовлетворительно»
54- 0 баллов	«не удовлетворительно»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).

а) основная литература:

1. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика [Текст] / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 500, [4] с. : табл., рис. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-91559-044-0 (в пер.). - ISBN 978-3-527-31672-4 (англ.) (60 экз.)

б) дополнительная литература:

1. Байрамов, Вадим Михайлович. Основы химической кинетики и катализа [Текст] : учеб. пособие для студентов хим. фак. ун-тов, обучающихся по специальности 011000 "Химия" и направлению 510500 "Химия" / В. М. Байрамов ; под ред. В. В. Лунина. - Москва : Академия, 2003. - 251, [5] с. : ил., табл. (Электронный каталог) 5 экз.

2. Комаров В.С. Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры [Текст] : Монография / В. С. Комаров, С. В. Бесараб. - 1. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2016. - 203 с. - ISBN 978-5-16-009581-3 : Б. ц. (ЭБС "ИНФРА-М")

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Для самостоятельной работы по химии студентам рекомендуются следующие Интернет-ресурсы:

1. [http://www.fptl.ru/Chem\\_block.html](http://www.fptl.ru/Chem_block.html) – различные учебно-методические материалы по химии;
2. <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html> - учебники, практикумы и справочники по химии.
3. <http://www.xumuk.ru/>, <http://www.nehudlit.ru/books/subcat281.html>
4. Нефтегазовое дело, <http://www.ngdelo.ru/>
5. Нефтяное хозяйство, <http://www.oil-industry.ru/>
6. Бурение и нефть, <http://www.burneft.ru>
7. <http://www.twirpx.com/file/49542/>; [http://www.fptl.ru/Chem\\_block.html](http://www.fptl.ru/Chem_block.html) - учебно-методические материалы по химии
8. <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html> - учебники, практикумы и справочники по химии
9. Известия Томского политехнического университета, <http://www.tpu.ru/>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Лекции – иллюстративный материал (слайды по разделам дисциплины представляются с помощью мультимедийного проектора).
- Семинарские/практические занятия – компьютеры для проведения вычислений, программа статистической обработки данных.
- Лабораторные работы - приборы и оборудование для приготовления и исследования активности катализаторов: весы аналитические, набор гирь,

часовое стекло, сита 0,1; 0,2; 0,3; ступка, газовые горелки, микрошприц, хроматографы, КФК, лабораторные установки проточного и импульсного типа.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

Автор: Ромаденкина С.Б.



Программа одобрена на заседании кафедры химической технологии нефти и газа от «18» марта 2011 года, протокол № 8.

Программа актуализирована в 2015 году (одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «31» августа 2015 года, протокол № 01).

Программа актуализирована в 2016 году (одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «14» октября 2016 года, протокол № 03).

Программа актуализирована и одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «30» августа 2018 года, протокол №1.