

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., проф. Горячева И.Ю.

"13" 09 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
Промышленный катализ и технология катализаторов

Направление подготовки бакалавриата
18.03.01 Химическая технология

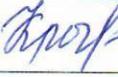
Профили подготовки бакалавриата
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных
материалов

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Ромаденкина Светлана Борисовна		13.09.2021
Председатель НМК	Крылатова Яна Георгиевна		13.09.2021
Заведующий кафедрой	Кузьмина Раиса Ивановна		13.09.2021
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

Дисциплина «Промышленный катализ и технология катализаторов» (Б1.В.05) относится к части, формируемая участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» рабочего учебного плана ООП по направлению 18.03.01 Химическая технология профилю «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и осваивается в 5 семестре.

К «входным» знаниям, умениям и готовностям обучающегося, необходимым при усвоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин, относятся знания фундаментальных разделов математики; аналитической химии и физико-химических методов анализа; физической химии и общей химической технологии.

Освоение данной дисциплины как предшествующей необходимо для изучения химической технологии топлива и углеродных материалов, технология нефтехимического и органического синтеза прохождения практик, выполнения квалификационной работы бакалавра.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-2. Способность проводить физические и химические эксперименты, инициировать работы по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, проводить анализ и контроль качества сырья и готовой продукции, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности	ПК-2.1. Планирует и проводит физические и химические эксперименты, проводит обработку их результатов и оценивает погрешности, выдвигает гипотезы и устанавливает границы их применения ПК-2.2. Разрабатывает план и программу проведения самостоятельного научного исследования и технической разработки ПК-2.3. Выбирает и адаптирует методы исследования для выполнения заданной научной и технологической	знать: - современные методы теоретического и экспериментального исследования в различных разделах химии, методы определения состава, структуры вещества, механизма химических процессов, их теоретические основы, возможности и границы применения; уметь: - выбрать метод исследования для заданной научной и технологической задачи, спланировать и провести исследование и интерпретацию

	<p>задачи ПК-2.4. Проводит физико-химический анализ сырья и готовой продукции и оценивает полученные результаты с помощью стандартных способов аппроксимации численных характеристик.</p>	<p>результатов эксперимента; владеть: - методиками проведения исследований свойств носителей и катализаторов с помощью современных физических и физико-химических методов; - навыками физико-химического анализа и опытом осуществления технологических процессов на лабораторных установках, для выполнения научно-исследовательских работ</p>
--	---	---

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Лаборат. раб.		СР	Контроль	Всего	
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка				
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
1	Основные понятия в катализе. Каталитические процессы нефтепереработки. Отравление катализаторов.	5	1-2	4	2	-	8		14	Индивидуальный отчет дискуссия
2	Определение физическо-химических характеристик носителей.	5	3-4	4	6	2	12		22	Индивидуальный отчет (реферат)
3	Кинетика каталитических реакций. Адсорбция как необходимая стадия гетерогенного катализа. Причины каталитического действия.	5	5-7	6	8	-	10		24	Отчет по лабораторным работам
4	Проблема создания общей теории катализа. Теории катализа и их анализ. Мультиплетная теория катализа Баландина. Теория ансамблей Кобозева. Радикально-цепная теория гетерогенного катализа.	5	8-9	4	2	-	12		18	Индивидуальный отчет (реферат)
5	Катализ на металлах и полупроводниках. Кислотно-основной катализ. Основы металлокомплексного катализа. Теория недостроенных оболочек для переходных	5	10-12	6	4	-	10		20	Индивидуальный отчет

	металлов.									
6	Методы получения и производство катализаторов Принципы приготовления активных катализаторов.	5	13-15	6	8	7	10		24	Отчет по лабораторным работам Проверка оформления письменного отчета в лабораторном журнале
7	Методы определения активности катализаторов.	5	16-18	6	6	-	10		22	Тестирование
	Промежуточная аттестация.							36	36	Экзамен.
	Итого: часов за 5 семестр	5		36	36	9	72	36	180	

Содержание дисциплины

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 нестроенных 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. Плавные и скелетные контактные массы.

Получения плавных 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, применяемые при освоении дисциплины

При изучении дисциплины «Промышленный катализ и технология катализаторов» реализуются различные виды учебной работы: лекции, консультации, коллоквиумы, лабораторные занятия, тестовый, опросы, самостоятельные работы.

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе деловых игр, разбор конкретных ситуаций. Лабораторные занятия и подбор выполняемых экспериментальных работ направлены на формирование у обучающихся умения и навыков в области катализа. Формированию профессиональных компетенций

выпускников способствует выполнение отдельных экспериментальных работ по научной тематике кафедры.

В рамках практической подготовки студентов профессиональные навыки формируются при выполнении индивидуальных и групповых лабораторных работ, подборе оптимальных параметров проведения технологических процессов, определении физико-химических характеристик сырья и целевых продуктов, контроль проводят в виде индивидуальных отчетов, коллоквиумов, разборов конкретных ситуаций, деловых игр.

При изучении дисциплины «Промышленный катализ и технология катализаторов» инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья следует применять следующие адаптивные технологии: использование социально-активных рефлексивных методов обучения для создания комфортного психологического климата в студенческой группе, использование дистанционных технологий при реализации программы, работа по индивидуальному плану (время подготовки к сдаче отчета, а также выполнение и оформление лабораторной работы увеличивать на 0.5 часа. При невозможности эффективного выполнения лабораторной работы – проводить в форме лабораторного эксперимента).

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

Самостоятельная работа студентов включает освоение теоретического материала, подготовку к лабораторным работам, оформление лабораторных работ, выполнение домашних заданий, подготовку текущему и итоговому контролю, прохождению тестов. Оценочные средства текущего контроля включают:

- выполнение и оформление лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций;
- оценку личностных качеств студента (аккуратность, работа у доски, исполнительность, инициативность);
- подготовку и защиту рефератов;
- изучение дополнительной литературы;
- участие в деловых играх.

Промежуточная аттестация студентов производится в форме: экзамена.

Перечень лабораторных работ

1. Теоретический расчет состава катализатора. Приготовление катализатора методом пропитки носителя.
2. Приготовление цеолитного катализатора (декатеонирование).
3. Каталитическое окисление углеводов.
4. Исследование каталитической активности в процессе изомеризации.
5. Исследование активности катализатора в процессе каталитического крекинга углеводов.

Вопросы для самостоятельной работы

1. Чем различаются определения скорости гомогенной и гетерогенной реакций?
2. Кислотные и цеолитные катализаторы. Принципы появления кислотности. Сила кислотных центров. Корреляция между кислотностью и каталитической активностью.
3. Какие реакции называют простыми, формально простыми, сложными?
4. Как составляют кинетические уравнения простых реакций?
5. Как составляют кинетические уравнения сложных реакций: а) с известным механизмом реакции; б) с неизвестным механизмом реакции?

6. В чем заключается главная кинетическая особенность гетерогенных химических процессов?
7. Какой смысл вкладывается в понятия «кинетическая область гетерогенного процесса», «диффузионная область»?
8. Как увеличить коэффициент массопередачи на стадии внешней диффузии?
9. Сформулируйте основные свойства лимитирующей стадии.
10. Как определить лимитирующую стадию гетерогенного процесса, экспериментально изучая влияние температуры на скорость образования продуктов в ходе этого процесса?
11. Как определить лимитирующую стадию гетерогенного процесса в системе «газ – твердое тело», используя теоретические зависимости между временем пребывания в реакторе и степенью превращения твердой фазы для различных областей протекания гетерогенного процесса?
12. Какие вещества называются катализаторами?
13. Нанесенные металлические катализаторы. Активность металлов. Дисперсность металлов. Катализ и спекание. Коксообразование.
14. Может ли катализатор сместить равновесие химической реакции?
15. Перечислите основные технологические характеристики твердых катализаторов и дайте их определения.
16. Какие отрицательные последствия может вызвать протекание каталитической реакции на твердом катализаторе во внешнедиффузионной области?
17. Почему кажущаяся энергия активации каталитической реакции, как правило, ниже истинной энергии активации?
18. Роль каталитических процессов в насыщении рынка товарами химической промышленности.
19. Экологические проблемы и разработка новых катализаторов. Основные понятия и определения в катализе.
20. Термодинамика и энергетика каталитических процессов. Пути протекания процессов.
21. Классификация и выбор катализаторов. Промышленные гетерогенные катализаторы.
22. Характеристика типов адсорбции. Изотермы физической адсорбции.
23. Скорости и кинетические модели каталитических реакций. Эмпирические корреляция.
24. Формальные кинетические модели. Ограничения кинетических моделей и некоторые примеры их применения.
25. Отравление и индукционный период. Компенсация. Ложная компенсация. Реагирующие смеси.
26. Определение физических характеристик катализаторов. Измерение удельной поверхности. Объем пор. Распределение пор по размерам. Механические свойства.

Темы рефератов

1. Методы исследования свойства твердых носителей.
2. Теории катализа.
3. Катализаторы очистки от оксидов азота и углерода.
4. Катализаторы процесса изомеризации.
5. Катализаторы процесса риформинга.
6. Катализаторы, применяемые для гидроочистки вакуумного газойля.
7. Алюмокобальт- молибденовые катализаторы процесса гидроочистки.
8. Катализаторы процесса крекинга.
9. Катализаторы, применяемые для гидроочистки нефтяных масел.
10. Цеолитные катализаторы, применяемые для гидроочистки нефтяных фракций.
11. Катализаторы, применяемые для гидроочистки дизельного топлива.
12. Палладиевые катализаторы на носителе.

13. Производство бор-алюмопалладиевых катализаторов.
14. Катализаторы, применяемые для гидрирования олефинов.
15. Катализаторы, применяемые для гидрирования бутана и изопентана.
16. Катализаторы, применяемые для дегидрирования олефинов.
17. Производство катализаторов синтеза газа.
18. Шпинельоксидные катализаторы.
19. Производство катализаторов ГИАП.
20. Производство цинк-хромового катализатора для синтеза метанола.
21. Катализаторы окисления.
22. Применение органохлорсиланов, в качестве катализаторов.
23. Катализаторы процесса платформинга.
24. Применение алюмофенилсилоксана, в качестве катализаторов.

Примеры задач тестового контроля

1. Явление катализа было открыто
 - а) Кобзевым в) Кирхгофом
 - б) Баландиным г) Берцелиусом
2. При каких условиях идут процессы на скелетных Ni катализаторах
 - а) $T=200-400^{\circ}\text{C}$, $P=2-5\text{МПа}$ в) $T=100-120^{\circ}\text{C}$, $P=2-8\text{МПа}$
 - б) $T=150-350^{\circ}\text{C}$, $P=2-5\text{МПа}$ г) $T=100-120^{\circ}\text{C}$, $P=2\text{МПа}$
3. Какие носители используются для приготовления катализатора
 - а) углев) кислоты
 - б) силикагели г) сланцы
4. Мультиплетную теорию катализа открыл
 - а) Кобзев; б) Писаржевский; в) Баландин; г) Тейлор
5. От каких факторов зависит содержание активного компонента в единице веса катализатора
 - а) τ , T , $\eta_{\text{ж}}$, $S_{\text{рв}}$ в) $V_{\text{пор}}$, T , P , $S_{\text{р}}$
 - б) p , τ , $V_{\text{пор}}$, $\eta_{\text{ж}}$ г) $V_{\text{пор}}$, $\eta_{\text{ж}}$, R

Вопросы по дисциплине

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. Промотирование 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. Применение физической адсорбции для определения величины поверхности катализаторов.
17. Требования, предъявляемые к катализаторам.
18. Синтез катализаторов, носителей и адсорбентов, основанный на осаждении.
19. Основные методы определения пористости катализаторов.
20. Приготовление катализаторов методом механического смешения компонентов.
21. Определение активности катализаторов.
22. Адсорбционный метод определения радиуса пор катализаторов.
23. Методы приготовления катализаторов нанесением.
24. Пропиточные и сорбционные катализаторы. Влияние природы исходного соединения и носителя на активность катализаторов.
25. Плавленые и скелетные контактные массы. Цеолитные катализаторы.
26. Проточный, импульсный и безградиентный проточно-циркуляционный метод определения активности катализаторов.
27. Характеристики и способы производства важнейших носителей.
28. Оксидные катализаторы. Нанесенные оксидные катализаторы. Сложные многокомпонентные оксидные катализаторы регулярного строения. Нанесенные металлические и смешанные катализаторы.
29. Катализаторы на металлических носителях. Катализаторы на пористых монокристаллических керамических носителях.
30. Каталитические яды и их влияние на промышленные процессы.
31. Физико-химические методы исследования катализаторов (рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия, масс-спектрометрия, газо-жидкостная хроматография и термогравиметрия).

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1. 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).

Практические занятия
не предусмотрены

Самостоятельная работа – 20 баллов (реферат, предусмотрено 2 реферата)

	0	1-4	5-7	8-10
Реферат	Работа не выполнена	Материал в работе подобран не грамотно, тема до конца не раскрыта	Материал соответствует теме работы, но оформлен не в соответствии с правилами	Материал соответствует теме работы, оформлен в соответствии с правилами и доложен на научном семинаре

Автоматизированное тестирование
не предусмотрено

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):

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

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) 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.)
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")
3. 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.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. <http://www.fptl.ru/Chemblock.html> – различные учебно-методические материалы по химии;
2. <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html> - учебники, практикумы и справочники по химии.
3. сайт химического факультета МГУ
<http://www.chem.msu.ru/rus/weldept.html>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная аудитория для чтения лекций.
2. Мультимедийное оборудование для демонстрации иллюстрационного материала (слайдов, анимационных фильмов). Персональный компьютер.
3. Учебная лаборатория для выполнения лабораторных работ, оснащенная необходимым оборудованием (весы аналитические, сушильный шкаф, горелки, микрошприц, хроматографы, лабораторные установки проточного и импульсного типа) и химической посудой

Место осуществления практической подготовки: учебные лаборатории Института химии

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

Автор (ы):

Доцент кафедры нефтехимии и техногенной безопасности
Института химии СГУ, к.х.н.

Ромаденкина С.Б.

Программа одобрена на заседании кафедры нефтехимии и техногенной безопасности от «17» сентября, 2021 года, протокол № 2