

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 15.05.2026 12:28:37

Уникальный программный ключ:

ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Факультет физико-математических и естественных наук

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМАТОГРАФИИ В КАТАЛИЗЕ

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:

04.04.01 ХИМИЯ

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Применение хроматографии в катализе» входит в программу магистратуры «Фундаментальная и прикладная химия» по направлению 04.04.01 «Химия» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра физической и коллоидной химии. Дисциплина состоит из 4 разделов и 10 тем и направлена на изучение Основной целью освоения дисциплины является получение студентами теоретических знаний по применению хроматографических методов для изучения каталитических процессов на современном уровне и во взаимосвязи с другими науками.

Целью освоения дисциплины является Основной целью освоения дисциплины является получение студентами теоретических знаний по применению хроматографических методов для изучения каталитических процессов на современном уровне и во взаимосвязи с другими науками.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Применение хроматографии в катализе» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий;
ПК-2	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	ПК-2.1 Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными; ПК-2.2 Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Применение хроматографии в катализе» относится к блоку по выбору блока образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Применение хроматографии в катализе».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ПК-1	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	Научно -исследовательская работа; Экспериментальные методы исследования в химии; Методы органической химии; Основы биотехнологии; Домино-реакции в синтезе гетероциклов; Methods of Organic Chemistry; Fundamentals of Biotechnology; Domino-reactions in the synthesis of heterocycles; Спектральные методы в неорганической химии; Химия координационных соединений; Резонансные методы в химии; Физико-химический анализ; Кинетика элементарных реакций; Термодинамика неравновесных процессов; Адсорбция; Физико-химия поверхности и хемосорбция; Молекулярный спектральный анализ; ЯМР органических соединений; Molecular spectral analysis; NMR of organic compounds; Физические методы исследования веществ и материалов; Статистическая термодинамика; Катализ; Нанохимия;	Преддипломная практика;
ПК-2	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	Экспериментальные методы исследования в химии; Теоретическая органическая химия; Theoretical organic chemistry; Молекулярный спектральный анализ; ЯМР органических соединений; Molecular spectral analysis; NMR of organic compounds; Электрохимические методы исследования; Резонансные методы в химии; Рентгенодифракционные методы в неорганической химии; Физико-химический анализ; Адсорбция; Научно -исследовательская работа;	Преддипломная практика;

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Применение хроматографии в катализе» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			3
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	54		54
Лекции (ЛК)	36		36
Лабораторные работы (ЛР)	18		18
Практические/семинарские занятия (СЗ)	0		0
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	90		90
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	0		0
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	144	144
	зач.ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Основы газовой хроматографии.	1.1	Метод газовой хроматографии, как универсальный метод для изучения катализаторов и каталитических процессов. Классификация методов хроматографии.	Рассмотрен метод газовой хроматографии как универсальный инструмент для изучения катализаторов и каталитических процессов, а также приведена классификация хроматографических методов. Газовая хроматография позволяет проводить анализ исходных веществ, промежуточных и конечных продуктов реакции в реальном времени (on-line), определять конверсию, селективность и выход целевых продуктов. В импульсном микрореакторном режиме ГХ исследует кинетику, энергию активации и механизм каталитических реакций. Хромато-масс-спектрометрия идентифицирует интермедиаты. Классификация хроматографии проводится по агрегатному состоянию фаз (газовая, жидкостная, сверхкритическая), механизму разделения (адсорбционная, распределительная, ионообменная, эксклюзионная, аффинная) и технике выполнения (колоночная, капиллярная, плоскостная). Газовую хроматографию подразделяют на газоадсорбционную (ГАХ) и газожидкостную (ГЖХ). Универсальность, высокая чувствительность и возможность автоматизации делают ГХ незаменимым методом в каталитических исследованиях, включая скрининг катализаторов и изучение дезактивации.	ЛК, ЛР
		1.2	Аппаратурное оформление процесса. Хроматографические детекторы. Идентификация компонентов анализируемых смесей. Метод внутренней нормализации. Метод абсолютной калибровки. Метод внутреннего стандарта. Импульсный хроматографический метод.	Рассмотрено аппаратное оформление газовой хроматографии, типы детекторов и методы идентификации и количественного анализа. Основные узлы хроматографа: система подачи газа-носителя, испаритель, термостатируемая колонка и детектор. Детекторы подразделяют на универсальные (пламенно-ионизационный, теплопроводности) и селективные (электронно-захватный, термоионный). Идентификацию компонентов проводят по временам удерживания, добавкам стандартов или индексам Ковача. Количественные методы: метод внутренней нормализации (расчет по доле площади пика каждого компонента в сумме площадей всех пиков); метод абсолютной калибровки (по	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				градуировочному графику); метод внутреннего стандарта (добавление известного количества эталонного вещества для компенсации матричных эффектов). Импульсный хроматографический метод заключается в вводе малых проб и позволяет изучать кинетику, изотермы адсорбции и активность катализаторов по форме и задержке импульса. Комбинация подходов обеспечивает точный количественный анализ сложных смесей.	
		1.3	Теория идеальной линейной хроматографии (общие положения). Теория идеальной нелинейной хроматографии (общие положения).	Рассмотрены общие положения теории идеальной линейной и нелинейной хроматографии. Теория идеальной линейной хроматографии базируется на допущении о мгновенном установлении равновесия между фазами (отсутствие кинетических ограничений) и линейной изотерме сорбции ($q = K \cdot C$, где K — константа распределения, не зависящая от концентрации). В рамках этой теории хроматографическая зона движется с постоянной скоростью, не изменяя формы, а уравнение материального баланса сводится к волновому уравнению. Линейная теория применима для разбавленных растворов и малых проб. Теория идеальной нелинейной хроматографии учитывает нелинейную изотерму сорбции (например, Ленгмюра, Фрейндлиха), когда K зависит от концентрации. Это приводит к концентрационно-зависимой скорости движения зоны, формированию асимметричных пиков с «хвостами» (фронтальное размытие) и возможности образования ударных волн (самообострение фронта). Нелинейная теория описывает перегрузку колонки, конкурентную адсорбцию и важна для препаративной хроматографии.	ЛК, ЛР
Раздел 2	Хроматографические методы изучения поверхности катализаторов	2.1	Хроматографические методы изучения поверхности катализаторов (проявительные методы, основанные на использовании метода идеальной нелинейной хроматографии). Определение удельной поверхности катализатора по	Рассмотрены хроматографические методы изучения поверхности катализаторов, включая проявительные методы на основе идеальной нелинейной хроматографии. Проявительный метод заключается в пропускании импульса адсорбата через колонку с катализатором; анализ формы и задержки импульса позволяет определять изотермы адсорбции, энергию активации	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			удерживаемым объемам. Метод тепловой десорбции. Определение молекулярной массы хроматографическим методом.	и гетерогенность поверхности. Удельную поверхность катализатора рассчитывают по удерживаемым объемам с использованием метода БЭТ в хроматографическом варианте (метод тепловой десорбции азота или аргона). Суть метода: измеряют объем газа, десорбированного при нагреве, пропорциональный поверхности. Метод тепловой десорбции (термопрограммированная десорбция, ТПД) регистрирует зависимость концентрации десорбируемого компонента от температуры, что дает энергию активации десорбции и концентрацию активных центров. Определение молекулярной массы хроматографическим методом основано на сравнении удерживаемых объемов неизвестного соединения с калибровочными стандартами (алканы, полистиролы). Методы применимы для пористых и дисперсных катализаторов.	
Раздел 3	Изучение кинетики каталитических реакций	3.1	Кинетика каталитических реакций, протекающих в хроматографических условиях. (необратимые реакции первого порядка в условиях идеальной линейной хроматографии).	Рассмотрена кинетика необратимых каталитических реакций первого порядка, протекающих в хроматографических условиях в рамках модели идеальной линейной хроматографии. Сочетание каталитического превращения и хроматографического разделения описывается системой уравнений материального баланса для реагента и продуктов с учетом их распределения между подвижной и неподвижной фазами и кинетического члена скорости реакции. При соблюдении линейной изотермы сорбции и отсутствии массообменных ограничений решение позволяет рассчитать выход продуктов в зависимости от времени удерживания и константы скорости реакции. Характерной особенностью является зависимость степени превращения от положения зоны в колонке. Профили концентраций реагента и продуктов имеют гауссову форму. Метод позволяет определять кинетические параметры (константу скорости, энергию активации) по выходу продуктов и форме хроматографических пиков. Подход применим для скрининга катализаторов, изучения механизмов реакций и оптимизации условий процессов в микрореакторных хроматографических системах.	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		3.2	Кинетика каталитических реакций, протекающих в хроматографических условиях. (необратимые реакции n-го порядка в условиях идеальной линейной хроматографии).	Рассмотрена кинетика необратимых каталитических реакций n-го порядка в условиях идеальной линейной хроматографии. Для реакций с порядком, отличным от единицы, система уравнений материального баланса становится нелинейной вследствие зависимости скорости реакции от концентрации реагента. Решение проводится численными методами. Характерными особенностями являются деформация хроматографических профилей по сравнению с реакцией первого порядка, асимметрия пиков и смещение максимумов во времени. Степень превращения зависит не только от кинетических параметров, но и от начальной концентрации реагента. Метод позволяет определять порядок реакции и константу скорости по изменению формы и площади пиков реагента и продуктов в зависимости от величины вводимой пробы и скорости потока. Несмотря на усложнение расчетов, подход применим для реальных каталитических процессов, где порядок реакции может быть дробным или отличаться от единицы, что важно для моделирования промышленных реакторов.	ЛК, ЛР
		3.3	Теория реакций в хроматографическом режиме (обратимые реакции типа $A \rightleftharpoons B+C$).	Рассмотрена теория обратимых каталитических реакций, протекающих в хроматографическом режиме. В отличие от необратимых процессов, обратимые реакции (например, $A \rightleftharpoons B$) характеризуются наличием двух противоположных кинетических констант. В условиях идеальной линейной хроматографии система уравнений материального баланса учитывает как межфазное распределение каждого компонента, так и их взаимопревращение. Решение показывает, что хроматографическая зона реагента и продукта не разделяются полностью, а их профили перекрываются. Эффективная константа скорости замедляется за счет сорбционных взаимодействий. Положение суммарного пика определяется средним временем удерживания, зависящим от равновесной константы реакции. Метод позволяет определять константы скорости прямой и обратной реакций, а также константу равновесия по изменению формы хроматограммы и соотношению площадей пиков в зависимости от времени	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				контакта. Теория важна для анализа изомеризаций, реакций гидратации-дегидратации и процессов, где равновесие сдвигается хроматографическим эффектом.	
Раздел 4	Хроматографический метод изучения адсорбции в ходе каталитического процесса	4.1	Хроматографические методы изучения отравления катализаторов (общие положения).	Рассмотрены хроматографические методы изучения отравления катализаторов. Отравление обусловлено необратимой или длительной хемосорбцией примесей (ядов) на активных центрах, что снижает каталитическую активность и селективность. Хроматографические подходы позволяют количественно оценить степень отравления и идентифицировать природу ядов. Импульсный метод регистрирует изменение времени удерживания, формы пика и степени превращения целевой реакции при последовательных вводах пробы в присутствии отравляющего компонента. Метод температурно-программированной десорбции (ТПД) с использованием молекулярных зондов показывает уменьшение концентрации активных центров и их энергетической гетерогенности после отравления. Хромато-масс-спектрометрия позволяет идентифицировать продукты дезактивации и природу ядов (сера, хлор, фосфор, металлы). Сравнительный анализ хроматограмм свежего и отравленного катализатора дает кинетические параметры дезактивации. Методы важны для прогнозирования ресурса работы катализаторов и выбора режимов регенерации.	ЛК, ЛР
		4.2	Теория импульсного отравления катализаторов (линейный закон). Теория импульсного отравления катализаторов (экспоненциальный закон).	Рассмотрена теория импульсного отравления катализаторов, описывающая дезактивацию при последовательных вводах отравляющего вещества в хроматографическом реакторе. Линейный закон отравления предполагает, что скорость снижения активности пропорциональна количеству введенного яда, а каждый активный центр инактивируется независимо. В этом случае активность катализатора линейно убывает с числом импульсов, что характерно для гомогенной поверхности с одинаковыми центрами. Экспоненциальный закон отравления описывает ситуацию, когда вероятность отравления пропорциональна остаточной активности, а яды	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>распределяются неравномерно, взаимодействуя с центрами разной энергии. Активность снижается по экспоненциальному закону от числа импульсов. Оба подхода позволяют по экспериментальным хроматограммам (изменению степени превращения или площади пика продукта) определять константу скорости отравления, стойкость катализатора и прогнозировать его ресурс. Экспоненциальный закон чаще реализуется для микропористых и гетерогенных катализаторов с диффузионными ограничениями.</p>	
		4.3	Хроматографические методы изучения глубокого и мягкого окисления углеводородов.	<p>Рассмотрены хроматографические методы изучения глубокого и мягкого окисления углеводородов. Глубокое окисление приводит к полному превращению углеводородов в CO_2 и H_2O, используется для очистки выбросов и дожигания. Мягкое (парциальное) окисление дает ценные кислородсодержащие продукты (спирты, альдегиды, кислоты). Газохроматографический анализ с пламенно-ионизационным и теплопроводным детекторами позволяет одновременно определять исходные углеводороды, промежуточные продукты и конечные оксиды углерода. Импульсный микрореакторный режим с хроматографическим анализом on-line используется для изучения кинетики, конверсии и селективности в зависимости от температуры, состава газовой смеси и типа катализатора. Хромато-масс-спектрометрия идентифицирует интермедиаты мягкого окисления. Метод температурно-программированного окисления (ТПО) регистрирует выделение CO и CO_2 при нагреве, что позволяет оценить количество и тип углеродных отложений. Комплекс хроматографических подходов дает полную картину механизмов окисления, помогает оптимизировать катализаторы для процессов окислительного дегидрирования, конверсии метана и очистки газов.</p>	ЛК, ЛР

* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Комплект специализированной мебели; специализированное оборудование химической лаборатории: шкаф вытяжной, шкаф сушильный, химические реактивы, весы технические и аналитические, хроматографы Кристалл 2000М, Кристалл 5000, хромато-масс-спектрометр Кристалл, рентгенофлуоресцентный спектрометр, ИК-спектрометр Инфралюм ФТ-02, спектрофотометры СФ-103, каталитические установки, компьютеры, стационарный мультимедийный проектор, стационарный экран, демонстрационные материалы Spectrum, Хроматэк Аналитик-2.6, Хроматэк Аналитик-3.0, PCEDX-Navi
Лаборатория	Аудитория для проведения лабораторных работ, индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и оборудованием.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом	

	специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	
--	---	--

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Гольберт К.А., Вигдергауз М.С. Введение в газовую хроматографию. 3-е изд. перераб. и доп./ М.: Химия, 1990. - 352 с
2. Яшин Я.И., Яшин Е.Я. Газовая хроматография / М. : ТрансЛит, 2009. - 528 с.
<https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>
- 3. В. Р. Майер ; под общ. ред. М. Б. Бару ; пер. с англ. И. А. Петухова, О. А. Петуховой, С. Б. Гомбоевой [и др.]. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография: практическое пособие / 5-е изд. – Москва : Техносфера, 2017. – 408 с.
https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=496529

Дополнительная литература:

1. Ж. Гишон, К. Гийемен; Пер. с англ. А.Е. Ермошкина; под ред. О.Г. Ларионова Количественная газовая хроматография для лабораторных анализов и промышленного контроля: В 2-х частях. Ч. 1 / . - М.: Мир, 1991. - 582 с
<https://lib.rudn.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>
2. Хроматография: Практическое приложение метода : В 2-х ч. Ч. 1 / Пер. с англ. А.В.Родионова; Под ред. В.Г.Березкина. - М. : Мир, 1986. - 335 с

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров
 - Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН
<https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>
 - ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
 - ЭБС «Юрайт» <http://www.biblio-online.ru>
 - ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru
 - ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>
2. Базы данных и поисковые системы
 - Sage <https://journals.sagepub.com/>
 - Springer Nature Link <https://link.springer.com/>
 - Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>
 - Научометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «Применение хроматографии в катализе».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент

Должность, БУП

Подпись

Маркова Екатерина

Борисовна

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:

Заведующий кафедрой

Должность БУП

Подпись

Чередниченко Александр

Генрихович

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:

Заведующий кафедрой

Должность, БУП

Подпись

Воскресенский Леонид

Геннадьевич

Фамилия И.О.