

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
И.о. декана  
А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

**Методы приготовления и исследования катализаторов**

по специальности

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Специализация:

**Фундаментальная и прикладная химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Химик / Химик-специалист. Преподаватель химии**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
В.В. Шелковников

Председатель УМК  
В.В. Шелковников

Томск – 2024

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием;

ОПК-3. Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения;

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.1 Знает стандартные приемы и операции, используемые при получении веществ неорганической и органической природы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 2.3 Умеет проводить стандартные синтезы по готовым методикам, выполнять стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов, а также использовать серийное научное оборудование для изучения их свойств

РООПК 3.1 Знает основы теоретической физики, математического анализа и квантовой химии; основные теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач химической направленности

РООПК 3.2 Умеет решать расчетно-теоретические задачи химической направленности по разработанным методикам, использовать аппарат теоретической химии и физики для грамотной интерпретации полученных результатов

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат и знать основные традиционные методы получения катализаторов, а также фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами; владеть теоретическими подходами в области традиционных и современных способов синтеза катализаторов и других дисперсных твердых тел с заданными текстурными характеристиками, химическим и фазовым составом, определяющими функциональные свойства получаемых материалов.

– Научиться самостоятельно ставить задачи синтеза, решаемые посредством выбора природы, химического состава, способа и условий приготовления требуемого материала,

выбирать оптимальные пути и методы решения подобных задач как экспериментальных, так и теоретических.

### **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль Физическая химия.

### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Восьмой семестр, зачет с оценкой

### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Неорганическая химия, Аналитическая химия, Органическая химия, Физическая химия, Строение вещества, Коллоидная химия, Адсорбционные процессы, Гетерогенный катализ.

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 44 ч.

-лабораторные: 12 ч.

-практические занятия: 24 ч.

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Модуль 1 «Научные основы приготовления катализаторов»

Тема 1. Цели и задачи научных основ приготовления катализаторов

История развития научных основ приготовления. Положения Г.К. Борескова о химической природе катализа. Основные проблемы катализа. Классификация катализаторов. Основные промышленные катализаторы. Современное определение дисциплины. Связь курса с другими дисциплинами.

Тема 2. Основные характеристики катализаторов и их зависимость от условий приготовления

Основные характеристики катализаторов и их зависимость от условий приготовления. Удельная каталитическая активность однофазных и многофазных катализаторов. Селективность. Текстуальные характеристики катализаторов. Оптимальная пористая структура. Основные механизмы изменения удельной поверхности и пористости. Механическая прочность катализаторов. Термическая стабильность. Текстуальные и структурные промоторы. Оптимальные гидродинамические характеристики катализаторов.

Тема 3. Основные этапы и методы приготовления катализаторов

Основные этапы и методы приготовления катализаторов. Выбор и подготовка исходных веществ. Получение активного компонента с заданным составом и свойствами различными методами. Переработка катализатора в товарный продукт. Подходы к получению дисперсных систем. Диспергирование. Конденсация. Классификация методов приготовления.

Тема 4. Подготовка и синтез исходных веществ для приготовления катализаторов.

Носители

Подготовка и синтез исходных веществ для приготовления катализаторов. Требования к исходному сырью. Растворы. Состояние ионов в растворах и его влияние на свойства катализаторов. Золи как исходные вещества для синтеза различных катализаторов и носителей. Свойства и факторы, определяющие стабильность золь-гелей оксидов и гидроксидов. Методы получения золь-гелей гидроксидов и оксидов. Применение и получение золь-гелей металлов.

Носители. Роль носителей в катализаторах. Физико-химические свойства основных синтетических и природных носителей. Оксид кремния (силикагель). Оксиды алюминия. Диоксид титана. Оксид магния. Диоксид циркония. Многокомпонентные носители. Блочные носители сотовой структуры. Углеродные носители: активные угли, Сибунит, углерод-минеральные носители, каталитический волокнистый (нитевидный) углерод.

Тема 5. Получение катализаторов методами осаждения

Технологические аспекты метода. Основные стадии метода осаждения. Основные параметры и факторы осаждения. Осаждение в периодическом и непрерывном режимах. Механизмы формирования гидроксидов. Стадийная схема коллоидно-химического осаждения. Физико-химические аспекты золь-гель метода осаждения. Старение осадков под маточным раствором. Классификация осадков по способности к кристаллизации при старении. Основы классической теории кристаллизации. Уравнение Гиббса-Томпсона-Оствальда. Формирование аморфных и труднокристаллизующих гидроксидов. Особенности формирования текстуры силикагеля при получении по золь-гель технологии и через каогель. Закономерности формирования фазового состава и текстуры гидратированных оксидов IV группы. Формирование легкокристаллизующихся гидроксидов. Теория кристаллизации малорастворимых гидроксидов по механизму ориентированного наращивания. Основные положения теории. Практическое применение теории на примере гидроксидов Al(III), Fe(III), Cr(III). Получение многокомпонентных катализаторов методом соосаждения. Классификация уровней взаимодействия гидроксидов при соосаждении. Особенности старения бинарных осадков. Особенности золь-гель химии при синтезе бинарных систем.

Тема 6. Термическая обработка катализаторов

Термическая обработка катализаторов. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении солей и гидроксидов. Спекание пористых тел. Полиморфные превращения. Твердофазные реакции. Механизмы твердофазного взаимодействия оксидов. Факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия. Влияние глубины взаимодействия компонентов на стадиях синтеза предшественников на направление и последовательность твердофазных превращений при прокаливании. Восстановление катализаторов.

Тема 7. Получение катализаторов методом механического смешения

Получение катализаторов методом механического смешения. Основные технологические стадии метода. Факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения. Способы интенсификации процессов взаимодействия компонентов при смешении. Смешение в присутствии жидкой фазы. Использование метода механохимической активации для приготовления многокомпонентных катализаторов и носителей.

Тема 8. Физико-химические основы приготовления катализаторов методом нанесения

Основные технологические стадии. Способы нанесения веществ из растворов и газовой фазы. Диффузионная и капиллярная пропитка. Общие представления о процессах, протекающих при формировании нанесенных катализаторов. Пропиточные и сорбционные катализаторы. Уравнение материального баланса процесса адсорбционной пропитки. Особенности формирования пропиточных катализаторов. Однократная и многократная

пропитка. Механизмы закрепления предшественников активного компонента на поверхности носителей. Химия поверхности оксидных и углеродных носителей. Механизмы катионного и анионного обмена, лигандного замещения и обмена. Основные положения теории электростатической адсорбции ионов из водных растворов. Распределение активного компонента в нанесенных катализаторах. Типы распределения. Физико-химические подходы к регулированию распределения активного компонента в катализаторах сорбционного типа.

Особенности физико-химических процессов, протекающих в процессе термообработки нанесенных катализаторов. Факторы, определяющие дисперсное состояние нанесенных компонентов. Механизмы спекания нанесенных дисперсных частиц.

Приготовление нанесенных многокомпонентных катализаторов. Процессы, протекающие при совместном и последовательном нанесении компонентов. Синтез через биядерные гетероатомные комплексы. Природа активных компонентов в нанесенных биметаллических катализаторах. Факторы, определяющие процессы формирования нанесенных сплавов.

#### Модуль 2 «Хроматография»

Тема 1. Физико-химические основы хроматографического процесса. Терминология и классификация в хроматографии. Классификация по методам, классификация по механизму. Классификация по формам осуществления. Лабораторная работа «Подбор режимов работы хроматографа и условий программирования».

Тема 2. Теория газожидкостной хроматографии. Теория хроматографического разделения газо-адсорбционным методом. Подвижная фаза. Твердые носители. Хроматограф. Принципиальная схема современного хроматографа. Качественный анализ. Количественный анализ. Лабораторная работа «Калибровка газового хроматографа»

Тема 3. Обзор методов жидкостной хроматографии. Классификация методов жидкостной хроматографии. Варианты жидкостной хроматографии по механизму удерживания. Детекторы. Лабораторные работы «Анализ смеси основных газов ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ )» и «Анализ смеси горючих газов»

Тема 4. Области применения хроматографического анализа. Определение молекулярной массы соединения. Определение изотермы адсорбции. Определение изостерической теплоты адсорбции. Определение удельной поверхности. Определение каталитической активности с помощью газохроматографического метода. Изучение неизотермической кинетики с помощью термодесорбции. Лабораторная работа «Анализ бензина с расчетом октанового числа. Вариации анализа».

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по модулю «Научные основы приготовления катализаторов» проводится путем контроля посещаемости занятий, проведения проверочных работ по лекционному материалу и материалу практических занятий, выполнения индивидуальных заданий, работы на практических занятиях и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Текущий контроль по модулю «Хроматография» проводится путем контроля посещаемости лабораторных работ и лекций и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

### 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в восьмом семестре проводится в устной форме в виде защиты научного доклада (реферата). Продолжительность зачета с оценкой 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/enrol/index.php?id=23454>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План практических занятий по дисциплине.
- г) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
  - Пахомов Н. А. Научные основы приготовления катализаторов / Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 2010. – 281 с.
  - Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 413 с.
  - Фенелонов В. Б., Мельгунов М. С. Адсорбционно-капиллярные явления и пористая структура катализаторов и адсорбентов: Сборник задач и вопросов с ответами и решениями. – НГУ. Новосибирск, 2010. – 190 с.
  - Мухленов И. П. Технология катализаторов. – Л.: Химия, 1979. – 324 с.
  - Конюхов В. Ю. Хроматография / В. Ю. Конюхов – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 224 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168444>.
  - Яшин Я. И., Яшин Е. Я., Яшин А. Я. Газовая хроматография. – М.: 2009. – 528 с.
  - Беккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика. Методы хроматографии и капиллярного электрофореза. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
  - Сидорова О. И. Лабораторный практикум по газовой хроматографии: учебно-методическое пособие / О. И. Сидорова. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 87 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000551991>.
- б) дополнительная литература:
  - Пахомов Н. А. Научные основы приготовления катализаторов: введение в теорию и практику. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2011. – 262 с.
  - Боресков Г. К. Гетерогенный катализ. – М.: Наука, 1986. – 304 с.
  - Карнаухова А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. – Новосибирск : Наука, 1999. – 470 с.
  - Пахомов Н.А., Буянов Р.А. Современные тенденции в области развития традиционных и создания новых методов приготовления катализаторов // Кинетика и катализ. – 2005. – Т.46. – № 5. – с. 711-727.
  - Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. – 2005. – Т. 75. – № 3. – с. 204-216.
  - Buyanov R. A., Krivoruchko O. P. // React. Kinet. Cat. Lett. – 1987. – V.35. – N 1-2. – P. 293-302.
  - Synthesis of Solid Catalysts / Ed. K.P. de Jong, Wiley-VCH Verlag GMBH & Co. KGaA, 2009. – 402 p.
  - Practical Gas Chromatography electronic resource : A Comprehensive Reference / edited by Katja Dettmer-Wilde, Werner Engewald. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer, 2014.

- в) ресурсы сети Интернет:
- База данных цитирования издательства Elsevier. Библиографическая информация, информация о цитировании, ссылки на полные тексты. – <https://www.scopus.com>
  - Информационно-аналитическая платформа компании Clarivate Analytics – <https://www.webofscience.com>
  - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <https://elibrary.ru>
  - Библиотека ЗАО СКБ «Хроматэк» [Электронный ресурс]: интерактив. справочник – URL: <http://chromatec.ru/library/articles/>
  - Хроматография [Электронный ресурс]: интерактив. справочник. – URL: <http://chromatography.narod.ru/links/index.html>

### 13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
  - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
  - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
  - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
  - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
  - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
  - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, оснащенная мультимедийным оборудованием для демонстрации презентаций, слайдов и компьютерной анимации.

Аудитории для проведения индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

- лаборатория (№ 110, 6-го учебного корпуса ТГУ)
- Программно – аппаратный комплекс на базе хроматографа «Хроматэк – Кристалл – 5000.1»
- Программно – аппаратный комплекс на базе хроматографа «Хроматэк – Кристалл – 5000.2»
- Программное обеспечение: «Хроматэк – Аналитик 2.5/3.5», «Хроматэк – Газолин», «Дистилляция», «Хроматэк Газ», обучающие программы СКБ Хроматэк
- ПЭВМ для работы с хроматографами: ноутбук ASUS X58Cseries, нетбук ACER ASPIRE D 255, адаптер беспроводной связи D – Link DWL – 2100AP для организации локальной сети, принтер Xerox Phaser 3125.

## **15. Информация о разработчиках**

Харламова Тамара Сергеевна, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.

Сидорова Ольга Ивановна, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.