

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Основы конструирования катализаторов

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Иновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): ведущий инженер Ламберов А.А. (сектор аккумуляирования водорода в жидком носителе, НИЛ Материалы для водородной энергетики и традиционной энергетики с низким углеродным следом), Alexander.Lamberov@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен использовать полученные знания теоретических основ современной химии и смежных наук при решении профессиональных задач
ПК--2	Способен применять приобретенные навыки проведения химического эксперимента, основные синтетические и аналитические методы получения и исследования химических веществ и реакций при решении профессиональных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- основные проблемы, решаемые катализом в промышленности;
- сущность явлений гомогенного и гетерогенного катализа, а также физико-химических процессов, происходящих на поверхности и в пористом пространстве катализатора на основных стадиях каталитического процесса, механизмы гомогенных и гетерогенных каталитических процессов;
- основные типы гомогенных и гетерогенных катализаторов, используемых в промышленности;
- основные традиционные методы получения различных типов катализаторов с заданными характеристиками структуры и состава

Должен уметь:

- применять полученные знания для оценки возможности использования того или иного типа катализатора в том или ином каталитическом процессе, а также при выборе способа его синтеза с требуемыми характеристиками структуры, состава и, как следствие, эксплуатационными характеристиками, для решения конкретных практических задач

Должен владеть:

- навыками анализа и организации работы каталитических процессов, разработки и применения катализаторов на новых и действующих промышленных объектах,
- навыками экспериментального исследования физико-химических свойств различных каталитических систем, математической обработки результатов измерений и сопоставления их с теоретическими значениями.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- применять полученные знания для оценки возможности использования того или иного типа катализатора в том или ином каталитическом процессе, а также при выборе способа его синтеза с требуемыми характеристиками структуры, состава и, как следствие, эксплуатационными характеристиками, для решения конкретных практических задач

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.02.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 04.04.01 "Химия (Инновационные материалы и методы их исследования)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 28 часа(ов), в том числе лекции - 12 часа(ов), практические занятия - 8 часа(ов), лабораторные работы - 8 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 44 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 1 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение в конструирование катализаторов	1	2	0	0	0	0	0	4
2.	Тема 2. Явления физической и химической адсорбции в конструировании катализаторов	1	2	0	0	0	0	0	19
3.	Тема 3. Кислотно-основные характеристики катализаторов и их регулирование при конструировании катализаторов	1	2	0	0	0	0	0	10
4.	Тема 4. Конструирование оксидных катализаторов	1	2	0	4	0	0	0	10
5.	Тема 5. Конструирование металлических катализаторов	1	2	0	4	0	8	0	1
6.	Тема 6. Основы конструирования катализаторов	1	2	0	0	0	0	0	0
	Итого		12	0	8	0	8	0	44

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Введение в конструирование катализаторов

Определение катализатора. Типы каталитических процессов. Достоинства, недостатки. Роль каталитических процессов в нефтепереработке и нефтехимии.

Основные понятия гетерогенного катализатора. Носитель и выполняемые функции. Электронные и структурные факторы катализатора. Стадии каталитического акта.

Катализатор – это вещество (индивидуальное химическое соединение или смесь), присутствие которого в смеси реагентов приводит к возбуждению или ускорению термодинамической разрешенной химической реакции между реагентами, в ходе которой это вещество не расходуется. Если катализатор и реагирующие вещества находятся в одной и той же фазе (в большинстве случаев жидкой), катализ называют гомогенным. В этом случае катализатор равномерно распределен по реакционному объему в атомно- или молекулярно-дисперсионном состоянии. К процессам гомогенного катализа относят многочисленные реакции гидратации, гидролиза, сульфирования, галогенирования, этерификации, конденсации и другие, ускоряемые кислотами или основаниями в жидкой фазе, а также жидкофазное окисление углеводородов в присутствии солей Co, Mn, Fe, Cu и др. Если катализатор и реагирующие вещества находятся в разных фазах, между которыми имеется граница раздела, катализ называют гетерогенным. Наиболее распространен случай, когда твердый катализатор (контакт) ускоряет реакцию между газами или реакцию в растворе. Гетерогенно-каталитические процессы в промышленности используют шире, чем гомогенно-каталитические. К ним относят важнейшие промышленные реакции синтеза и окисления аммиака, окисления SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub>, глубокого и парциального окисления органических соединений, получения водорода конверсией смеси CO + H<sub>2</sub>O или CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O, дегидрирования алканов в олефины и олефинов в диены, гидрирования жиров, крекинга и риформинга нефти, а также многие другие. К достоинству гомогенного катализа можно отнести высокую эффективность использования поверхности катализатора так как взаимодействие катализатор-субстрат протекает на межмолекулярном уровне. Равномерность распределения катализатора в объеме контактной массы. Основными параметрами управления процессом является температура и время контактирования. В качестве недостатка гомогенного катализа можно отметить трудность выделения катализатора из контактной массы, подвода или отвода тепла, сложность управления временем контактирования, протеканием вторичных процессов с участием образующихся реагентов. При кислотном катализе – высокая коррозионная активность контактной массы.

Достоинствами гетерогенного катализа являются более широкие возможности управления каталитическим актом (время контактирования, температура, давление реакции), легкость отделения катализатора и его многократное использование. Возможность поддержания теплового баланса.

## Тема 2. Явления физической и химической адсорбции в конструировании катализаторов

Физическая адсорбция используется в катализе для определения текстурных характеристик катализатора ( $V_p$ ,  $S_{уд}$ , максимум распределение пор),  $R_{сп} = 4V/S$ . Критерии и потенциальные кривые физической и химической адсорбции. Явление физической адсорбции широко используется для исследований и создания текстурных характеристик катализаторов. Основные граничные условия в теории адсорбции Ленгмюра. При очень малых заполнениях поверхности адсорбция пропорциональна давлению (концентрации) адсорбата и изотерма описывается уравнением Генри. Для больших заполнений поверхности уравнение Генри невыполнимо. Процесс адсорбции уравновешен. Скорость адсорбции пропорциональна парциальному давлению или концентрации адсорбирующегося вещества и доле свободной поверхности, а скорость десорбции пропорциональна только доле заполнения поверхности. Общий вид изотерм адсорбции Ленгмюра при разных температурах  $T_2 > T_1$ . Для вычисления  $S_{уд}$  из величины монослойной адсорбции: . На практике изотермы Ленгмюра наблюдаются редко, так как они осложнены полимолекулярной адсорбцией. Обычно изотермы имеют S-образную форму. Теорию полимолекулярной адсорбции создали С.Брунеуэр, П.Эмметт, и Э.Теллер (метод БЭТ). Согласно которой при температуре ниже критической, каждая молекула в первом слое с теплотой адсорбции является центром адсорбции для молекул образующих второй слой и т.д. Теплота адсорбции во всех слоях кроме первого равна теплоте конденсации. В равновесии скорость адсорбции (конденсации) на первом (свободном) слое равна скорости десорбции (испарения) с первого монослоя. Аналогично скорость адсорбции или конденсации на первом слое приравнивается к скорости испарения со второго и т.д. Уравнение БЭТ. Классификация IUPAC: поры с эффективным внутренним размером  $Z < 2$  нм называют микропорами, с  $Z = 2 \div 50$  нм - мезопорами, и с  $Z > 50$  нм - макропорами. В макропорах с  $Z > 100$  нм обычно происходит лишь моно- и полимолекулярная адсорбция на поверхности. Для мезопор (и макропор с  $Z < 100$  нм) дополнительно характерно объемное заполнение по механизму капиллярной конденсации, который связан с кривизной поверхности и определяется уравнением Кельвина. Заполнение микропор происходит по другому объемному механизму, который обусловлен наложением полей сил, действующих на молекулы адсорбата со стороны поверхности стенок. Этот эффект усиливает адсорбционный потенциал, в результате такие поры могут заполняться адсорбатом уже при малых относительных давлениях  $P/P_0$ .

## Тема 3. Кислотно-основные характеристики катализаторов и их регулирование при конструировании катализаторов

Индикаторный метод. Функция кислотности.  $\text{H}^+$  функция кислотности, характеризует протонодонорные свойства гомогенной среды. Появление цвета кислой формы индикатора при адсорбции на поверхности катализатора указывает на то, что значение функции кислотности  $\text{H}^+$  на поверхности катализатора ниже  $\text{pK}$  применяемого индикатора. Кислотность ряда катализаторов, определенная визуальным методом. Разновидностью является спектрофотометрический метод, в котором индикаторы адсорбируются на оптически прозрачных пленках катализатора и снимают УФ спектры в видимой области. Если известен коэффициент экстинкции, то можно определить концентрацию центров. Основные индикаторы, используемые для определения силы кислотных центров, кислотные центры некоторых катализаторов. Преимущества: простота метода. Недостатки: трудно определить концентрацию центров, так как часто цвет (спектр) кислой формы маскируется цветом основной формы. Индикаторы адсорбируются на брэнстедовских и льюисовских центрах. Индикаторное равновесие не всегда устанавливается.

Метод адсорбции газообразных оснований. Основан на том, что молекулы газообразного основания, адсорбированные на сильных кислотных центрах, более стабильны и труднее удаляются. Термопрограммированная десорбция основания - частный случай метода ДТА, совмещенный с термогравиметрией. В этом случае по ТГА можно определить количество удерживаемого основания и по ДТА - количество поглощенного тепла. Мерой силы кислотных центров поверхности катализаторов может служить и теплота адсорбции различных оснований. Так, для алюмосиликатного катализатора крекинга двух типов калориметрическим методом была измерена теплота адсорбции триметиламина  $\Delta H$ , равная соответственно 138 и 159 кДж/моль. Чаще всего в качестве основания используют аммиак, пиридин, хиолин,  $n$ -бутиламин.

#### Тема 4. Конструирование оксидных катализаторов

Основной катализ. Природа основных центров

Представлены протонодонорные свойства оксидов, для которых найдены значения  $\text{pK}$ . Природа основных центров наиболее подробно исследовалась для оксидов кальция и магния. Показано существование нескольких типов основных центров на поверхности оксида магния и частично дегидратированного гидроксида: сильно основные  $\text{O}^{2-}$  центры, превращающиеся в процессе адсорбции в ионы  $\text{CO}_3^{2-}$ ; сильно основные центры, образованные ионами  $\text{O}^{2-}$ , прилегающими к поверхностным  $\text{OH}$ -группам; поверхностные  $\text{OH}$ -группы, представляющие собой слабые основные центры.

Столбчатые глины

Глины являются природными алюмосиликатами и в течение длительного времени их используют в качестве катализаторов или их компонентов. Природные глины: монтмориллонит  $\text{M}_x/\text{n} + \text{aH}_2\text{O}(\text{Al}_4 - \text{xMg})\text{oct}(\text{Si}_8)\text{tetO}_{20}(\text{OH})_4$  и галлуазит  $(\text{H}_2\text{O})_4[\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4]$  применяли в качестве катализаторов крекинга с 1936г. до тех пор, пока в 1950г. они не были заменены синтетическими алюмосиликатами. Все природные глины содержат примеси оксидов:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Дегидратация спиртов

Одним из наиболее многотоннажных каталитических процессов, протекающих по кислотному механизму, является дегидратация спиртов. Он катализируется оксидами  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и т.д., которые малочувствительны к действию ядов и легко регенерируются. В зависимости от типа катализатора продукты реакции могут быть различны. На сегодняшний день нет единого мнения по механизму протекания процесса. В каждом конкретном случае процесс описывается механизмом, дающим наиболее адекватную картину полученных результатов. Так, считается, что дегидратация является двухстадийным процессом и протекает через образование эфира. При снижении температуры выход эфира возрастает. На  $\text{Al}_2\text{O}_3$  разложение этанола протекает при 250-350°C почти со 100%-ной селективностью в этилен и воду.

Превращение метанола

Другим процессом, протекающим по кислотному механизму, является превращение углеводородов (метанол, олефины, парафины) на цеолитах. В 1976 году фирма "Мобил" в США сообщила о разработке процесса превращения метанола в углеводороды на цеолите HZSM-5. Процесс получил название MTG (methanol-to-gasoline), или "Мобил-процесс". Образование углеводородов проходит в несколько стадий. Вначале протекает обратимая дегидратация метанола в диметилэфир, который в дальнейшем дегидратируется с получением олефинов. Последние вступают в реакции полимеризации и циклизации, приводящие к образованию алканов, циклоалканов и ароматических углеводородов.

#### Тема 5. Конструирование металлических катализаторов

Металлические нанесенные катализаторы широко используются в реакциях, протекающих с участием водорода. Кроме того, нанесенные металлические катализаторы используются в процессах с участием кислорода, например, селективного и глубокого окисления ( $\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Rh}$ ,  $\text{Ag}$ ). На моноядерных центрах активация водорода приводит к образованию поверхностных гидридных форм. Для таких металлов как  $\text{Ti}$ ,  $\text{Pd}$  и  $\text{Pt}$  более глубокое взаимодействие с водородом может приводить к образованию фазы гидрида металла.



Глубокое и частичное гидрирование. В первом случае все ненасыщенные связи гидрируются до превращения в C-O-, C-C-, C-N-связи (например, гидрирование бензола в циклогексан). Предельным случаем глубокого гидрирования является гидрогенолиз с образованием связей C-H, O-H, N-H. Во втором случае частичное гидрирование протекает до некоторого предела. Fe, Cu и Pt, хуже поглощают водород и соответственно имеют более низкую каталитическую активность, чем Ni и Pd. В качестве катализаторов гидрирования применяют также оксиды (хромит меди CuCrO<sub>2</sub>), сульфиды (NiS, CoS, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>), карбиды (Mo<sub>2</sub>C).

## Тема 6. Основы конструирования катализаторов

### Основы конструирования катализаторов

Научные основы приготовления катализаторов – установление общих физико-химических закономерностей, действующих на каждом из этапов выбранного метода получения отдельных классов однотипных по своей природе промежуточных и синтезируемых из них целевых продуктов. Эмпирический подход к приготовлению катализатора сопряжен с проведением огромного числа экспериментов, так как требуется учесть влияние различных операций и факторов приготовления на показатели катализатора.

Селективность (избирательность) катализаторов, характеризуемая отношением скорости образования требуемого продукта к общей скорости превращения исходного вещества, более чувствительна к условиям приготовления, поскольку она определяется не только химическим и фазовым составами активного компонента, но и пористой структурой.

### Методы получения катализаторов

1. Методы осаждения из растворов (или соосаждения для многокомпонентных систем). 2. Методы нанесения. 3. Методы, основанные на механическом смешении компонентов. 4. Методы, базирующиеся на термическом разложении исходных веществ. 5. В отдельную группу относят методы приготовления пористых тел губчатой структуры, используя химическое воздействие реагентов на грубо пористое или непористое твердое тело: выщелачивание сплавов при синтезе скелетного катализатора типа никель Ренея.

В качестве исходных веществ для золь-гель метода применяют неорганические соединения (силикат натрия, SiCl<sub>4</sub>, TiCl<sub>4</sub>, ZrCl<sub>4</sub> и др.) алкоксиды (Si, Al, Ti и др.): тетраметоксисилан (ТМОС), тетраэтоксисилан (ТЕОС), тетрапропоксисилан (ТПОС), тетрабутоксисилан (ТБОС), тетраизопропоксититан, изопропилат циркония и др. По золь-гель способу с использованием алкоксидов получают широкий набор дисперсных материалов различного химического состава:

– индивидуальные оксиды: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO;

– бинарные и многокомпонентные оксиды: SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> – TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> – ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO;

– нанесенные металлические катализаторы: Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pt/SiO<sub>2</sub>, Pd/SiO<sub>2</sub>, Pt-Sn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### Механизмы закрепления предшественника активного компонента на поверхности носителя

1. Адсорбция в молекулярно-дисперсном состоянии

Закрепление молекул хлорида палладия происходит за счет образования поверхностных π-комплексов с С=С группами углеродного носителя;

2. Ионный (катионный или анионный) обмен с поверхностными функциональными группами)

3. Катионный обмен с поверхностными катионами, входящими в структуру носителя

4. Химическое взаимодействие

5. Электрохимическое восстановление металла на поверхности углеродного носителя при нанесении в анаэробных (т.е. в отсутствии воздуха) условиях

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Катализ в промышленности, периодический журнал - <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1140752>

Кинетика и катализ, периодический журнал - <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=712147>

Неорганические материалы, периодический журнал - <http://elibrary.ru/issues.asp?id=7918>

Нефтехимия, периодический журнал - <http://elibrary.ru/issues.asp?id=7920>

рекомендации по разработке катализатора - <http://e.lanbook.com/view/book/32826/page249/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**



Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время. На лекции необходимо по каждой теме составить конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения, запоминания и дальнейшей проработки.
практические занятия	<p>Практические занятия состоят в обсуждении предложенной заранее темы, возможны письменные (контрольные) работы и др. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практического занятия, для подготовки к нему необходимо: -внимательно прочесть конспект лекции по данной тематике;- ознакомиться с соответствующим разделом учебника; - проработать дополнительную литературу и источники по теме; - составить реферат или развернутый план выступления; - решить задачи и выполнить другие письменные задания.</p> <p>Подготовка к практическому занятию включает несколько этапов.</p> <p>Следует внимательно прочесть рекомендованную учебную литературу по теме. Затем приступить к знакомству с дополнительной литературой.</p> <p>В анализе могут содержаться выводы над какими вопросами по теме проведенного занятия студентам необходимо поработать еще самостоятельно. Обычно планы практических занятий охватывают основные темы изучаемого курса. Следует внимательно ознакомиться с кругом вопросов, которые определены планом практического занятия.</p>
лабораторные работы	<p>Лабораторная работа - это проведение студентами по заданию преподавателя или по инструкции опытов с использованием приборов, применением инструментов и других технических приспособлений, т.е. это изучение каких-либо объектов, явлений с помощью специального оборудования.</p> <p>В ходе лабораторных работ студенты воспринимают и осмысливают новый учебный материал.</p> <p>Практические занятия носят систематический характер, регулярно следуя за каждой лекцией или двумя-тремя лекциями. Лабораторные работы выполняются согласно графику учебного процесса и самостоятельной работы студентов по дисциплинам. При этом соблюдается принцип индивидуального выполнения работ. Каждый студент ведет рабочую тетрадь, оформление которой должно отвечать требованиям, основные из которых следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- на титульном листе указывают предмет, курс, группу, подгруппу, фамилию, имя, отчество студента; каждую работу нумеруют в соответствии с методическими указаниями, указывают дату выполнения работы;</li> <li>- полностью записывают название работы, цель и принцип метода, кратко характеризуют ход эксперимента и объект исследования;</li> <li>- при необходимости приводят рисунок установки; результаты опытов фиксируют в виде рисунков с обязательными подписями к ним, а также таблицы или описывают словесно (характер оформления работы обычно указан в методических указаниях к самостоятельным работам);</li> <li>- в конце каждой работы делают вывод или заключение, которые обсуждаются при подведении итогов занятия.</li> </ul> <p>Все первичные записи необходимо делать в тетради по ходу эксперимента.</p> <p>Проведение лабораторных работ включает в себя следующие этапы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- постановку темы занятий и определение задач лабораторной работы;</li> <li>- определение порядка лабораторно-практической работы или отдельных ее этапов;</li> <li>- непосредственное выполнение лабораторной работы студентами и контроль за ходом занятий и соблюдением техники безопасности;</li> <li>- подведение итогов лабораторной работы и формулирование основных выводов.</li> </ul> <p>При подготовке к лабораторным занятиям необходимо заранее изучить методические рекомендации по его проведению. Обратит внимание на цель занятия, на основные вопросы для подготовки к занятию, на содержание темы занятия.</p> <p>К лабораторным работам студент допускается только после инструктажа по технике безопасности. Положения техники безопасности изложены в инструкциях, которые должны находиться на видном месте в лаборатории.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;</p> <p>- знакомство с Интернет-источниками;</p> <p>- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы, коллоквиумы);</p> <p>- выполнение контрольных работ;</p> <p>- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.</p> <p>Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.</p> <p>Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.</p> <p>При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.</p>
зачет	<p>При ответе на зачете необходимо:</p> <p>- продумать и четко изложить материал;</p> <p>- дать определение основных понятий;</p> <p>- дать краткое описание явлений;</p> <p>- привести примеры.</p> <p>Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.</p> <p>При устном повествовании излагать материал четко и обдуманно. Для успешной сдачи зачета необходимо разумное сочетание запоминания и понимания, простого воспроизводства учебной информации и работы мысли.</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;

- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;

- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 04.04.01 "Химия" и магистерской программе "Инновационные материалы и методы их исследования".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Инновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

#### Основная литература:

1. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - 2-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2013. - 500 с.
2. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика: учебное пособие / Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х., - 2-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 504 с. ISBN 978-5-91559-153-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/516597> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа : по подписке.
3. Буданов, В. В. Химическая кинетика : учебное пособие / В. В. Буданов, Т. Н. Ломова, В. В. Рыбкин. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 288 с. - ISBN 978-5-8114-1542-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/168624> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 200 с. - ISBN 978-5-8114-2158-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/169060> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Гетерогенные каталитические реакции в проточных реакторах: руководство к лабораторному практикуму для студентов Химического института им. А.М. Бутлерова КФУ / А.А. Ламберов и др. - Казань: Казанский университет, 2013. - 71 с.
2. Физико-химические методы исследования гетерогенных катализаторов: руководство к лабораторному практикуму / авт.-сост. А.А. Ламберов, С.Р. Егорова, А.Н. Катаев и др. - Казань: Казанский университет, 2013. - 80с.
3. Модернизация катализаторов и технологии синтеза изопрена на ОАО 'Нижнекамскнефтехим' / А.А. Ламберов, Х.Х. Гильманов. - Казань: Казанский университет, 2012. - 404 с.
4. Бокштейн, Б. С. Физическая химия: термодинамика и кинетика : учебное пособие / Б. С. Бокштейн, М. И. Менделев, Ю. В. Похвиснев. - Москва : МИСИС, 2012. - 258 с. - ISBN 978-5-87623-619-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/47443> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Инновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.