

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

Особенности эксплуатации катализаторов

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: 2025

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): главный научный сотрудник, д.н. Ламберов А.А. (сектор аккумуляирования водорода в жидком носителе, НИЛ Материалы для водородной энергетики и традиционной энергетики с низким углеродным следом), Alexander.Lambergov@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-3	Способен анализировать новую научную проблематику, применять методы и средства планирования, организации и проведения научных исследований в выбранной области химии и смежных наук

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

методы проведения эксперимента в лабораторных условиях, критерии эффективности каталитического процесса, особенности эксплуатации различных катализаторов, современные каталитические производства и тенденции их развития

Должен уметь:

при изучении нового химического каталитического процесса получить в лабораторных условиях экспериментальные данные, пригодные для экстраполяции к промышленным условиям, в промышленных условиях подбирать и регулировать условия наиболее благоприятные для применяемого катализатора

Должен владеть:

представлением о химических и физических процессах, протекающих как на поверхности и в отдельной грануле катализатора, так и в реакторах различного типа

Должен демонстрировать способность и готовность:

при изучении нового химического каталитического процесса получить в лабораторных условиях экспериментальные данные, пригодные для экстраполяции к промышленным условиям

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.07.04 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 2 курсе в 3 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 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 32 часа(ов), в том числе лекции - 16 часа(ов), практические занятия - 16 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 76 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 3 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	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение. Применение гетерогенных катализаторов в химической промышленности	3	2	0	2	0	0	0	9
2.	Тема 2. Кинетика каталитических реакций	3	2	0	2	0	0	0	9
3.	Тема 3. Процессы переноса в грануле и слое катализатора	3	3	0	3	0	0	0	9
4.	Тема 4. Особенности эксплуатации промышленных катализаторов	3	3	0	3	0	0	0	9
5.	Тема 5. Каталитические реакторы и особенности эксплуатации катализаторов	3	3	0	3	0	0	0	22
6.	Тема 6. Особенности эксплуатации катализаторов на примере промышленных каталитических процессов	3	3	0	3	0	0	0	18
	Итого		16	0	16	0	0	0	76

4.2 Содержание дисциплины (модуля)**Тема 1. Введение. Применение гетерогенных катализаторов в химической промышленности**

Применение гетерогенных катализаторов в химической промышленности

Катализом называют изменение скорости или возбуждение химической реакции при воздействии веществ - катализаторов, которые участвуют в реакции, но не входят в состав конечных продуктов. Катализатор не находится в стехиометрическом отношении с продуктами и, как правило, регенерируется после каждого цикла превращений реагентов в продукты. В большинстве случаев количество катализатора много меньше количества реагентов.

Различают положительный катализ, когда катализатор ускоряет реакцию, и отрицательный, когда катализатор замедляет реакцию. В большинстве случаев под термином катализ понимают положительный катализ. Явление ускорения реакции при воздействии продукта реакции или одного из промежуточных веществ называют автокатализом.

Основные стадии катализа

Гетерогенно-каталитическую реакцию можно разбить на следующие основные стадии: диффузия компонентов к катализатору; адсорбция; собственно каталитическая реакция (химические превращения на поверхности, обычно несколько стадий); десорбция и обратная диффузия продуктов реакции.

Адсорбцией называют повышение концентрации молекул, атомов или ионов вблизи поверхности твердого тела. Адсорбируемое вещество называют адсорбатом, а твердое тело, на котором протекает адсорбция, - адсорбентом.

Классификация каталитических процессов и катализаторов по механизму, подбор катализаторов Для общей ориентации в подборе катализаторов полезна классификация каталитических процессов по механизму действия катализаторов. Согласно Рогинскому, каталитические реакции можно разделить на два больших класса: окислительно-восстановительные (одноэлектронные) и кислотно-основные (ионные).

К первому классу относят процессы, связанные с переходом электронов: окисление, восстановление, гидрирование, дегидрирование, разложение кислородсодержащих соединений типа H_2O_2 , N_2O , $KClO_4$. Типичными катализаторами для них являются металлы и полупроводники.

Ко второму классу причисляют реакции кислотного-основного взаимодействия: каталитический крекинг, гидратация, дегидратация, гидролиз, многие реакции изомеризации, полимеризации, конденсации органических веществ.

Типичными катализаторами этого класса являются твердые тела, обладающие кислотными (аморфные и синтетические алюмосиликаты, Al_2O_3 , ThO_2 , сверхкислоты: высококремнистые цеолиты, гетерополиокислоты) и основными (MgO , CaO) свойствами.

Также существует разделение реакций в органической химии по механизму элементарного акта на гомолитические и гетеролитические. В элементарном акте гомолитической реакции происходит разделение электронов двухэлектронной пары, образующей химическую ковалентную связь А-В. В гетеролитических реакциях образование и разрушение химических связей протекают без разделения пары электронов.

В отдельный, третий, класс следует выделить катализ координационными соединениями. Координационная связь - это донорно-акцепторная связь, реализующаяся в комплексных соединениях. Число связей (n), которое образует центральный (металлический) атом М образует с другими атомами или группами - лигандами L - в комплексе ML_n превышает формальную валентность металла М.

Тема 2. Кинетика каталитических реакций

Кинетика каталитических реакций

Этапы кинетических исследований. Экспериментальные методы определения скоростей реакций, требования к условиям проведения экспериментов

Непосредственная задача кинетического эксперимента сводится к получению данных о величинах выходов продуктов реакции (степеней превращения) как функции параметров процесса. Такими параметрами являются время контакта, исходный состав смеси, температура, давление. Указанные функциональные зависимости могут быть получены путем варьирования данных параметров; при этом целесообразно, чтобы в каждой серии опытов подвергался изменению только один параметр.

Изучение кинетики конкретных химических реакций начинается, как правило, с построения экспериментально определяемых зависимостей $C_i = f(\tau)$, которые носят название кинетических кривых. Далее начинается анализ этих данных и изучение механизма протекания реакции.

Критериями пригодности выбираемого метода исследования должны быть следующие:

- 1) точность результатов, достаточная для их обработки;
- 2) стабильность условий в течение всего опыта;
- 3) возможность воспроизведения условий предшествующих опытов;
- 4) легкость изменения условий опытов при переходе от одного к другому;
- 5) сохранение катализатора в стабильном активном состоянии в ходе опыта и от одного опыта к другому;
- 6) отсутствие любых побочных влияний на компоненты реакции и на катализатор, приводящих к возможным изменениям последних в ходе опытов и между ними.

Методы, используемые для измерения каталитической активности, можно разбить на две группы: 1) статические, осуществляемые в закрытых системах, 2) проточные, реализуемые в открытых системах.

Статические методы. При статических методах процесс осуществляется нестационарно: реактор заполняется реакционной смесью и по изменению ее состава со временем определяется скорость реакции.

Измерение активности в проточном реакторе. В реакторе смесь проходит с постоянной скоростью через трубку, заполненную катализатором. Состав смеси изменяется по длине катализатора из-за протекания реакции и из-за продольного перемешивания, но в каждом данном сечении трубки состав смеси постоянен и в первом приближении устанавливается стационарный состав катализатора.

Реакторы идеального вытеснения. В реакторе идеального вытеснения отсутствует продольное перемешивание и в каждом сечении, перпендикулярном потоку реагентов, после некоторого начального периода устанавливается стационарный состав реагентов, соответствующий только протеканию каталитической реакции.

Реакторы полного смешения. В реакторах полного смешения, или дифференциальных (безградиентных) реакторах, при сохранении постоянного потока реагентов применяют интенсивное перемешивание пространства с катализатором с помощью мешалок или циркуляцию с помощью поршневых, лопастных электромагнитных или других насосов. В результате состав и температура газовой или жидкой смеси над катализатором по всему реактору остается постоянной.

Тема 3. Процессы переноса в грануле и слое катализатора

Процессы переноса в грануле и слое катализатора

Внутридиффузионное торможение скорости реакции

Если химическая реакция протекает достаточно быстро, а скорость суммарного процесса лимитируется диффузией реагентов в порах зерна катализатора, то катализ протекает во внутридиффузионной области.

Критериями области внутренней диффузии являются:

- 1) наличие изломов на зависимости константы скорости в аррениусовских координатах;
- 2) влияние изменения пористости катализатора на активность и селективность;
- 3) влияние размеров гранул катализатора на скорость реакции;
- 4) для нанесенных катализаторов в кинетической области скорость пропорциональна количеству нанесенного вещества, в диффузионной области - обычно не пропорциональна.

Переходу реакции из области внутренней диффузии в кинетическую область будут способствовать снижение температуры, снижение пористости, изменение распределения активной массы по зерну с преимущественной концентрацией последней во внешнем слое зерна.

Перенос вещества в пограничном слое и в широких порах описывается законом Фика с обычным значением D . Однако большинство катализаторов имеет поры преимущественно малого диаметра, внутри которых молекулярная диффузия не подчиняется закону Фика. Если диаметр поры меньше средней длины свободного пробега, молекулы сталкиваются со стенками пор чаще, чем между собой. В такой поре перенос вещества идет по механизму Кнудсена.

Во внутридиффузионной области скорость реакции в n раз меньше, чем в области химической кинетики. Также во внутридиффузионной области порядок реакции по компоненту, концентрация которого в глубине зерна близка к нулю, становится средним между порядком реакции в кинетической области и первым порядком; порядок реакции по остальным компонентам снижается в 2 раза, и наблюдаемая энергия активации становится равной половине энергии активации в кинетической области.

Пористая структура катализатора оказывает влияние не только на скорость, но и на избирательность процесса. Если побочная реакция представляет собой параллельное превращение исходного вещества, то избирательность зависит от формы кинетических закономерностей обеих реакций. Диффузионное торможение в большей степени снижает скорость той из параллельных реакций, скорость которой быстрее уменьшается с ростом глубины превращения.

На практике часто имеют место последовательные реакции, когда полезный продукт является промежуточным и может испытывать реакции, когда полезный продукт является промежуточным и может испытывать дальнейшие превращения с образованием менее ценных веществ. В этом случае диффузионное торможение всегда снижает избирательность.

Тема 4. Особенности эксплуатации промышленных катализаторов

Особенности эксплуатации промышленных катализаторов.

Основные требования к промышленному катализатору

При создании нового твердого катализатора или усовершенствовании находящегося в эксплуатации катализатора необходимо учитывать следующие основные параметры для катализаторов: физико - механические; химические; эксплуатационно-экономические.

К физико-механическим свойствам или параметрам катализатора можно отнести насыпную плотность, истинную плотность, удельную поверхность, средний объем пор и распределение пор по радиусам, фракционный состав, размер частиц, пористость, аморфность или кристалличность, форму частиц, теплоемкость, термостойкость или паротермостойкость, способность к отравлению и регенерации.

К химическим параметрам катализаторов можно отнести химический состав, содержание примесей, способность к активированию (процессированию, модифицированию) и отравлению ядами, образованию и швов, модификаций и фаз, прививке активаторов к поверхности твердых катализаторов.

Пористая структура катализаторов

Как правило твердые оксидные, сульфидные и другие частицы катализаторов пронизаны порами.

Макропористые тела содержат поры размером от 100 до 200 нм (например, природные алюмосиликаты типа силлиманит, активированные угли). Они имеют удельные поверхности в пределах от 0,5 до 50 м²/г. В этих катализаторах и адсорбентах стенки пор являются гладкими, адсорбция на таких катализаторах соответствует изотерме адсорбции Ленгмюра. Эти поры играют роль транспортных каналов, и торможение химических процессов внутренней диффузией молекул реагентов в них отсутствует.

Мезопористые катализаторы имеют поры радиусом от 1,5 до 200 нм. Эти твердые тела имеют удельную поверхность в пределах 20-500 м²/г. В них имеется широкий набор пор по радиусам. Супермикропористые тела обладают порами в пределах размеров 0,5-1,5 нм. Удельная поверхность таких катализаторов и адсорбентов изменяется в пределах от 500 до 1000 м²/г. К таким адсорбентам относят цеолиталюмосиликатные или цеолит-цирконосилкатные катализаторы, высокопористые силикагели.

Форма и размер гранул катализаторов

Твердые адсорбенты и катализаторы готовят, как правило, в форме цилиндров, колец Рашига, шариков, микросфер, частиц в форме звездочек, дужек, лепешек и многих других форм. Металлические катализаторы готовят в форме сеток или свитых проволочек.

В промышленных условиях чаще всего используют катализаторы в таблетированной и микросферической форме.

Механическая прочность катализаторов

Механическая прочность катализаторов и адсорбентов определяет длительность их пребывания в неизменной форме в реакторах. Катализаторы и адсорбенты могут находиться в реакторах в неподвижном слое, перемешаться в реакторах или находиться в составе кипящего слоя как в реакторах и регенераторах на установках каткрекинга, дегидрирования СЗ-С5-парафинов, окисления олефинов или во взвешенном слое в лифт-реакторе. Частицы катализаторов подвергаются в период их эксплуатации истиранию реакционной смесью, растрескиванию истиранию при движении по транспортным линиям за счет соударения их друг с другом и со стенками транспортных линий.

Тема 5. Каталитические реакторы и особенности эксплуатации катализаторов

Каталитические реакторы и особенности эксплуатации катализаторов.

Конструкции каталитических реакторов в современных химических производствах, их основные характеристики

Химические реакторы классифицируют по следующим критериям: непрерывность операции, температурный режим и режим движения реагентов. Кроме того, реакторы так же, как и химические процессы, делят по наивысшей температуре процесса на низко- и высокотемпературные; по применяемому давлению – на аппараты, работающие при высоком, повышенном, нормальном и низком (под вакуумом) давлениях. Реакторы также классифицируют по фазовому состоянию реагентов на аппараты для осуществления гомогенных и различных гетерогенных процессов.

Непрерывность операции

В реакторы периодического действия реагенты загружаются в начале операции. После определенного времени, необходимого для достижения заданной степени превращения, аппарат разгружают. Основные параметры процесса (концентрация реагентов и продуктов реакции, температура, давление и т. п.) изменяются во времени.

Реакторы непрерывного действия от пуска до остановки непрерывно (или систематическими порциями) питаются исходными веществами и из них выводятся продукты реакции.

Реакторы полунепрерывного действия характеризуются тем, что сырье поступает в аппарат непрерывно или определенными порциями через равные промежутки времени, а продукты реакции выгружаются периодически. Возможна и непрерывная выгрузка продукта при периодической подаче сырья. Такие реакторы работают в переходном режиме, основные параметры процесса изменяются во времени.

Температурный режим (Адиабатические, политермические, изотермические реакторы)

Режим движения реагентов (Реактор идеального вытеснения, Реактор полного смешения)

Тип загрузки катализатора

Требования к конструкции реакторов

Многообразие химических и физических явлений лежащих в основе разнохарактерных технологических процессов, выдвигает самые различные требования к химическим реакторам. Однако все без исключения реакторы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) обеспечивать большую производительность при возможно более высокой степени превращения;
- 2) иметь малые энергетические затраты на транспортировку и перемешивание реагентов;
- 3) быть достаточно простыми в устройстве и дешевыми, для чего при изготовлении реакторов необходимо использовать черные металлы недорогие изделия силикатной промышленности, пластмассы и т. п.;
- 4) наиболее полно использовать тепло экзотермических реакций и тепло, подводимое извне, для осуществления эндотермических процессов;
- 5) быть надежными в работе, по возможности наиболее полно механизированными и обеспечивать автоматическое регулирование процесса.

Факторы, определяющие выбор типа реактора

Температура и давление относятся к важнейшим побудителям химических процессов. Оба эти фактора заметно влияют на конструкцию реактора. В зависимости от температуры ведения процесса приходится применять те или иные теплоносители или хладагенты. Тип теплоносителя оказывает большое влияние на конструкцию реактора.

Давление среды определяет форму и габаритные размеры аппарата, его материал, конструкцию перемешивающих устройств и сальников. Аппаратам, работающим под высоким давлением, обычно придают цилиндрическую или шаровую форму. Чем выше давление среды, тем меньше диаметр корпуса аппарата.

Тепловой эффект реакции определяет необходимость теплообменной поверхности реактора, ее размеры.

Тема 6. Особенности эксплуатации катализаторов на примере промышленных каталитических процессов

Особенности эксплуатации катализаторов на примере промышленных каталитических процессов

Каталитический крекинг нефтяного сырья

Важнейшим процессом нефтепереработки является каталитический крекинг. Крекинг углеводородов - наиболее многотоннажный промышленный каталитический процесс. С помощью крекинга из нефти получают жидкое моторное топливо: бензин, дизельное и реактивное топливо. В настоящее время в США - 50% нефти перерабатывается на установках каталитического крекинга.

В 1920-х годах в качестве катализатора крекинга применяли суспензию $AlCl_3$ в жидких углеводородах. В 1936 г. в США был запущен первый завод каталитического крекинга на основе предложения Э. Гудри использовать природные глины (монтмориллонит) как катализаторы крекинга. В 1943 г. фирма "Стандарт Ойл" (ныне "Экссон-Мобил") ввела в действие производство ТСС (thermofor catalytic cracking) на основе шарикового алюмосиликатного катализатора. В 1949 г. появились первые установки с кипящим слоем микросферического катализатора. Эти установки - процесс FCC (fluid catalytic cracking) - стали главными после перехода промышленности крекинга в 1980-х годах на новое сырье - вакуумный газойль, вместо фракций дизельного топлива.

Требования к катализатору. На основании изложенной технологии катализатор крекинга должен отвечать ряду требований:

- 1) обладать высокой активностью и селективностью, т.е. должен обеспечивать значительную степень превращения сырья в высокооктановый бензин;
- 2) должен иметь низкую скорость дезактивации и обладать способностью к полной регенерации без потери активности;

3) сохранять стабильность при высокотемпературной регенерации. Кроме того, катализатор не должен образовывать слишком много кокса. Для крекинга в кипящем слое важна также механическая прочность на истирание;

4) катализатор должен быть устойчив к отравлению ядами.

Молекулярно-ситовое действие цеолитов в каталитическом крекинге. Молекулярно-ситовый эффект по-разному влияет на молекулы разного размера. Подбором цеолита с разным размером пор можно направить процесс в нужную сторону.

Малые и однородные поры препятствуют доступу к внутренним активным центрам для больших молекул. Таким образом, уменьшаются скорость первичных реакций крекинга и общая скорость конверсии. Малые поры увеличивают доступ малых молекул к активным центрам и, следовательно, скорость вторичных реакций. Малые поры также препятствуют всем бимолекулярным реакциям, требующим наличия достаточно большого объема переходного иона карбения. Размер пор обуславливает направление превращений: или диспропорционирование с участием большого иона карбения, или процессы разложения с участием протона. Возрастает и β -крекинг, потому что это мономолекулярный процесс. В результате растет соотношение алканы:олефины.

Получение метанола

Получение формальдегида

Получение окиси этилена

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 №14-55-99б/ин/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)

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

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

Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов - <http://znanium.com/bookread.php?book=468690>

Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов - http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=32826

Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС - http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=45973

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 прочитать 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 прочитать 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>

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<ul style="list-style-type: none"> - чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины; - знакомство с Интернет-источниками; - подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы, коллоквиумы); - выполнение контрольных работ; - подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены. <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> <ul style="list-style-type: none"> - продумать и четко изложить материал; - дать определение основных понятий; - дать краткое описание явлений; - привести примеры. <p>Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.</p> <p>При устном повествовании излагать материал четко и обдуманно. Для успешной сдачи 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".

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.07.04 Особенности эксплуатации катализаторов

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: 2025

Основная литература:

1. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика: учебное пособие / 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 / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт. - 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: 27.01.2025). - Режим доступа: по подписке.
3. 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: 27.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гидрогенизационные процессы нефтепереработки : учебно-методическое пособие : для студентов химического института им. А. М. Бутлерова / С. Р. Егорова [и др.] ; Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им. А. М. Бутлерова, Кафедра физической химии. - Казань : Школа, 2022. - 58 с.

Дополнительная литература:

1. Харлампи, Х. Э. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник / Х. Э. Харлампи. - 2-е изд., перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 448 с. - ISBN 978-5-8114-1478-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/213269> (дата обращения: 27.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС : учебник / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампи, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов. - 2-е изд., перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-1479-6. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211571> (дата обращения: 27.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Закгейм, А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / А. Ю. Закгейм. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Логос, 2020. - 304 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-497-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1212487> (дата обращения: 27.01.2025). - Режим доступа: по подписке.
4. 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. (5 экз. НБ КФУ, 20 экз. в фонде кафедры).
5. 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. - 79 с. (5 экз. НБ КФУ, 20 экз. в фонде кафедры).
6. Модернизация катализаторов и технологии синтеза изопрена на ОАО 'Нижнекамскнефтехим' / А.А. Ламберов, Х.Х. Гильманов. - Казань: Казанский университет, 2012. - 403 с. (5 экз. НБ КФУ, 20 экз. в фонде кафедры).

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.07.04 Особенности эксплуатации катализаторов

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: 2025

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.