

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра неорганической и физической химии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов»

Направление подготовки/специальность	21.03.01 Нефтегазовое дело
Направленность (профиль)/специализация	«Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта, хранения и переработки нефти и газа»
Форма обучения	очная
Год начала обучения	
Реализуется в	6 семестре

Ставрополь

2026 г.

Введение

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» является формирование набора общепрофессиональных и профессиональных компетенций выпускника по направлению подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело. Основные задачи изучения дисциплины:

- заложить основу знаний по теории и практике применения гетерогенных катализаторов и адсорбентов в различных процессах переработки нефти и газа;
- дать представления о составе, строении, свойствах и механизмах действия, наиболее распространенных промышленных каталитических систем;
- сформировать научный подход к подбору катализаторов для конкретных процессов;
- дать представления о технологии производства применяемых в отрасли катализаторов.

Задачи изучения дисциплины состоят также в приобретении студентами теоретических знаний и практических навыков, необходимых будущим бакалаврам для принятия технически и экономически обоснованных решений при:

- планировании и проведении научных исследований с целью создания новых процессов и модернизации существующих установок переработки нефти и газа;
- проектировании новых технологических схем, выборе параметров технологического режима, расчете и выборе оборудования;
- анализе и оценке альтернативных вариантов технологической схемы и отдельных узлов;
- анализе научно-технической литературы и проведении патентного поиска.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.О.03. «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» относится к дисциплинам направленности (профиля) «Химическая технология топлива и углеродных материалов » (обязательная часть). Ее освоение происходит в 6 семестре.

В результате освоения дисциплины «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

Код	формулировка компетенции
ПК-1	Способен обеспечить технологическое сопровождение процесса переработки нефти, газа и химического сырья

Тема 1. Теории и механизм каталитического действия

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Катализом называется увеличение скорости химических реакций или возбуждение их в присутствии катализаторов, которые участвуют в реакции, вступая в промежуточное химическое взаимодействие с реагентами, но восстанавливают свой химический состав по окончании каталитического превращения.

Катализаторами являются вещества, которые участвуют в элементарных физических и химических стадиях химической реакции, но после завершения химического процесса выделяются в неизменном химическом виде в реакционную смесь.

По принципу фазового состояния реагентов и катализатора каталитические процессы разделяют на две основные группы: гомогенные и гетерогенные.

При гетерогенном катализе катализатор и реагенты или продукты реакции находятся в разных фазах; обычно применяют твердые катализаторы.

Переходным от гомогенного к гетерогенному является микрогетерогенный, в том числе ферментативный катализ, при котором катализатор находится в коллоидном состоянии.

В простых одномаршрутных реакциях действие катализатора не сдвигает равновесие, а лишь ускоряет достижение его при данной температуре.

Если термодинамически возможны различные параллельные реакции основного исходного вещества, то применение катализатора, ускоряющего одну из возможных реакций, позволяет подавлять остальные и получать такой продукт, который при некаталитической реакции не получается. В ряде

процессов применение катализаторов разного действия позволяет получать со значительным выходом различные продукты.

Гетерогенный катализ широко применяется в промышленности, благодаря наиболее простым методам отделения катализаторов от реакционной смеси, возможностью регулировать скорость процесса изменением состава и структуры активных центров и другими свойствами. Подавляющее большинство известных промышленных гетерогенных каталитических процессов основано на реакциях между газообразными веществами с участием твердых катализаторов, хотя известны и другие сочетания по фазовому состоянию между реагирующими веществами и катализатором.

Выделяют несколько систем гетерогенного катализа.

Все каталитические реакции, происходящие при гомогенном и гетерогенном катализе, делят по типу взаимодействия катализатора с реагирующими веществами на два основных класса: окислительно-восстановительное (гомолитическое) и кислотно-основное (гетеролитическое) взаимодействия.

Механизм катализа

Общий механизм электронного окислительно-восстановительного катализа заключается в обмене электронами между катализатором и реагентами, который облегчает электронные переходы в реагирующих молекулах.

Механизм обычного ионного, кислотно-основного катализа заключается в обмене протонами или ионами (анионами и катионами) между катализатором и реагирующими молекулами.

Образующиеся промежуточные активированные комплексы неустойчивы и распадаются или реагируют с другой молекулой. В обоих случаях катализатор регенерируется

ЗАДАНИЯ

1. Поясните на примере сущность процесса гетерогенного катализа.

2. Дайте примеры различных механизмов протекания гетерогенного катализа.

3. Объясните процессы окисления этилена на серебряном и на палладиевом катализаторе. Их различие.

4. Приведите примеры различных систем гетерогенного катализа.

5. Напишите механизмы окислительно-восстановительное (гомолитическое) и кислотно-основное (гетеролитическое) взаимодействия катализатора.

6. Приведите примеры типичных катализаторов для окислительно-восстановительных реакций и кислотно-основных реакций.

ВОПРОСЫ

1. Дайте определение процесса катализа.

2. Какие вещества являются катализаторами?

3. По какому принципу делятся каталитические процессы на гомогенные и гетерогенные?

4. В каких фазах находятся катализатор и реагенты или продукты реакции в гетерогенном катализе?

5. Как действует катализатор на одноступенчатые реакции?

6. Как классифицируются каталитические реакции по типу взаимодействия катализатора с реагирующими веществами?

7. Чем отличаются известные системы гетерогенного катализа?

8. Благодаря чему гетерогенный катализ наиболее широко применяется в промышленности?

Тема 2. Количественные показатели и методы исследования катализаторов

ПРИМЕНИМОСТЬ ТЕОРИЙ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ НЕФТЕ- И ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ

Для практики катализ - это, прежде всего технология, связанная такими областями науки, как органическая химия, химия поверхности, химическая кинетика, термодинамика, физика твердого тела и физическая металлургия. Единой теории катализа не существует. Для объяснения механизма каталитических реакций в разное время учеными разрабатывались следующие теории катализа:

Геометрическая – теория Тейлора. Эта теория вводит понятие активных центров в твердых телах.

Мультиплетная теория катализа Баландина, определяет, что в твердом катализаторе существуют сочетание атомов в форме дуплетов, триплетов, квартетов, мультиплетов, в которых расстояние между атомами совпадает с длиной связи в молекулах углеводородов.

Электронная теория Волькенштейна. Исходит из представления процесса катализа, который обуславливается электронным взаимодействием, связанным с переносом заряда из валентной зоны в зону проводимости.

Химическая теория рассматривает катализатор как химическое соединение с характерными свойствами, которые обуславливают химические связи с реагентами, в результате чего формируется переходный комплекс. После распада комплекса с высвобождением продукта катализатор возвращается в исходное положение.

Кроме перечисленных теорий существуют – теория катализа ансамблями, теория кристаллического поля, радикальная теория.

Эти теории определяли качественную структуру, природу и состав активных центров, формулировали в определенной мере произвольный механизм каталитических процессов и не затрагивали теоретические основы приготовления твердых катализаторов оптимального состава, структуры и активности.

Теория катализа полиэдрами И.М. Колесникова, которая включила в свой состав ранее сформулированные теории катализа и создала новые под-

ходы к решению проблем по определению структуры, состава и состояния активных центров и методов синтеза катализаторов с известной структурой активных центров, оптимального состава, с максимальной активностью и селективностью.

ВОПРОСЫ

1. В чем соответствие между геометрической конфигурацией атомов активных центров катализаторов и реагирующих молекул по теории Тейлора?
2. Определить принцип энергетического соответствия по теории Баландина.
3. В чем сущность электронной теории Волькенштейна?
4. В чем преимущества теории полиэдрами перед ранее существовавшими?

Тема 3. Активные центры и промоторы

Основные типы промоторов. Понятия об активном компоненте, носителе (матрице) и связующем гетерогенных катализаторов и адсорбентов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На основе классификации катализаторов по разным признакам более обоснованно подбираются условия их синтеза, формулируются механизмы действия катализаторов на молекулы реагентов и последовательность протекания элементарных стадий каталитических процессов. Классификация также важна при создании новых типов катализаторов и подборе катализаторов к химическим процессам и химическим процессам к катализаторам.

Классификацию катализаторов можно осуществлять при выделении основных признаков самих катализаторов и каталитических процессов.

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 пористость, насыпную плотность, истинную плотность, удельную поверхность, средний объем пор и распределение пор по радиусам, фракционный состав, размер частиц, аморфность или кристалличность, форму частиц, теплоемкость, термостойкость или водо-паротермостойкость, способность к отравлению и регенерации.

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

Эксплуатационно-экономическими показателями или свойствами катализаторов являются активность и селективность, легкая регенерируемость от различных отложений и включений (кокса, оксидов, обратимых ядов), возможность создания простых способов синтеза катализатора в промышленном масштабе, повышенная теплоемкость, насыпная плотность, малая чувствительность к ядам, длительное время работы в реакторе без регенерации, легкость перевозок и хранения, легкость отделения от реакционной смеси, доступность сырья для производства катализатора и экологическая безвредность.

Твердые катализаторы - это высокопористые вещества с развитой внутренней поверхностью, характеризующиеся определенной пористой и кристаллической структурой, активностью, селективностью и рядом других технологических характеристик.

Рассмотрим некоторые характеристики твердых катализаторов.

Для количественной оценки активности в промышленных условиях определяют: общее превращение исходного сырья; выход целевого продукта;

скорость превращения определенного количества сырья в единицу времени; на единицу массы катализатора; на единичный объем катализатора; на единицу площади поверхности катализатора.

Удельная активность выражается количеством продукта получаемого за единицу времени с единицы объема или веса катализатора.

$$A = G_{\text{пр.}} / (V_{\text{кат.}} \cdot t)$$

или

$$A_{\text{уд}} = G_{\text{пр.}} / (G_{\text{кат.}} \cdot t).$$

Насыпная плотность есть отношение массы катализатора к его насыпному объему V .

$$\rho_{\text{н.п.}} = m / V;$$

где m — масса катализатора; V — объем пробы, который равен объему материала катализатора.

общий объем будет равен сумме: V

$$= V_k + V_n + V_z,$$

V_k, V_n ; — объем катализатора и пор катализатора;

V_z — свободный объем между частицами (зернами) катализатора;

Косвенно это показатель пористой структуры.

Кажущаяся плотность определяется как отношение массы катализатора к сумме объемов катализатора V_k и пор V_n

$$\rho_{\text{к.п.}} = m / (V_k + V_n);$$

Истинную плотность катализатора определяют как отношение массы катализатора к объему плотного слоя, без учета объема пор и пустот между частицами, то есть:

$$\rho_{\text{и.п.}} = m / V_k;$$

Удельный объем пор — это отношение суммарного объема катализатора к его массе.

$$V_{\text{уд.}} = 1 / \rho_{\text{каж.}} - 1 / \rho_{\text{ист.}}$$

ЗАДАНИЯ

1. Рассчитать активность твердых катализаторов в зависимости от об-

щего превращения сырья. (1).

2. Найти насыпную, кажущуюся и истинную плотность катализатора.

3. Пользуясь данными задания 2, найти удельный объем пор и заполнить таблицу.

№№ п/п	Наименование катализатора	Кажущаяся плотность, $\rho_{\text{каж.}}$	Истинная плот- ность, $\rho_{\text{ист}}$	Удельный объем пор, $V_{\text{уд.}}$
		г/см ³	г/см ³	
1	Кристаллический цеолит	1,5 г/см ³	2,4	
2	Гранулированный кокс	2,5	2,7	

4. Дать примеры селективных катализаторов для получения различных продуктов из одного вида сырья. Например: исходное сырье: $m\text{CO} + n\text{H}_2$.

ВОПРОСЫ

1. Что такое активность и селективность катализаторов?
2. Какие основные факторы влияют на активность и селективность катализаторов?
3. Что понимают под прочностью и износоустойчивостью катализатора?
4. Какие бывают виды отравления катализаторов?
5. Чем способствует теплопроводность зерен катализатора?
6. Чем определяется срок службы и стоимость катализатора?
7. Чем определяется влагоемкость образцов катализатора?
8. Где учитывается температура зажигания катализатора?
9. Какую плотность определяют для твердых катализаторов?

Тема 4. Носители и способы поддержания активности.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Катализаторы могут быть изготовлены как на носителях с малой удельной площадью поверхности (диатомит, пемза, асбест), так и с высоко-развитой поверхностью (γ - Al_2O_3 , MgO , силикагель, глины, алюмосиликаты).

Рассмотрим некоторые наиболее часто используемые в промышленности носители.

Пемза. Природный материал, пористая разновидность вулканического стекла. Представляет собой смесь силикатов натрия, калия, кальция, алюминия, магния, железа.

Перед использованием из пемзы кислотами удаляют примеси железа и алюминия, является непрочным, легким носителем.

Асбест — группа минералов, имеющих волокнистое строение. По химическому составу асбестовые минералы представляют собой различные водные силикаты магния, железа, кальция и натрия.

Диатомит (кизельгур, инфузорная земля) — горная порода, состоящая преимущественно из панцирей диатомовых водорослей, что обеспечивает носителю большую пористость и легкость.

Диатомит механически непрочен, используется в виде крупных зерен.

Металлокерамика — спрессованные микросферические шарики металла с высокой теплопроводностью. Регулируемая пористая структура зависит от размера исходных микрошариков и давления прессования. Металлокерамика может быть использована для катализаторов кипящего слоя.

Активный уголь (АУ). Применение АУ в различных отраслях промышленности в качестве сорбентов, катализаторов, носителей обусловлено их высокой пористостью (около 60—70 %), значительной электрической проводимостью и химической природой поверхности.

Активные угли, выпускаемые промышленностью, в зависимости от областей их применения делят на три основные группы:

1)осветляющие;2)рекуперационные;3)углигазовоготипа.

Наибольшее применение в качестве катализаторов и носителей нашли угли третьей группы.

Силикагель — аморфный оксид кремния, характеризуется высокой устойчивостью структуры, возможностью в широких пределах регулировать пористую структуру, негорючестью. Наибольшее применение как носители получили: силикагель и высокодисперсные порошки — аэросилы или белая сажа.

Оксиды алюминия.

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ — корунд, наиболее устойчивая форма оксида алюминия, содержащая примерно 99 % Al_2O_3 и небольшое количество примесей оксидов титана и кремния. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ получают обжигом гидроксида алюминия при температурах до 1200 °С. При нагревании вплоть до температуры плавления (свыше 2000 °С) он не подвергается никаким превращениям.

Корунд — механически прочный теплопроводный носитель, стоек к воздействию кислот и щелочей.

По прочности $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ уступает корунду, но является более пористым материалом. Активный оксид алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) нашел широкое применение в таких процессах нефтепереработки, как риформинг, гидроочистка, гидрокрекинг, где используют катализаторы, содержащие до 80—99 % $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Его получают прокаливанием гидроксида алюминия в тригидратной или в моногидратной форме.

Основные требования, которые надо учитывать при подборе носителя:

1. необходимые механические свойства: прочность на раздавливание, истирание, твердость.

2. стабильность в условиях реакции и регенерации - термостойкость, коррозионная устойчивость

3. пористость носителя — определяется средним радиусом пор, распределение объема пор по радиусу.

Пористая структура связана с природой вещества, образующего носитель, и часто находится в обратной зависимости от величины прочности.

Преимущества синтетических носителей:

1. постоянный химический состав;
2. возможность регулирования пористой структуры, что позволяет ликвидировать и получать высокоактивный катализатор.
3. возможность получения катализаторов в виде гранул заданной формы.

ЗАДАНИЯ

1. Рассмотреть способы производства силикагеля, какой из них наиболее перспективен?
2. Дать сравнительную характеристику различным модификациям оксида алюминия?
3. Начертить график зависимости влияния температуры прогрева оксида алюминия на активность полученных модификаций.

ВОПРОСЫ

1. По каким признакам делятся носители?
2. Каковы роль носителей гетерогенных катализаторов?
3. Какие носители наиболее часто применяются в каталитических процессах?
4. Какие носители относятся к природным материалам?
5. Какие носители относятся к синтетическим материалам, в чем их преимущество?
6. В чем причины использования носителей для получения катализаторов?
7. Какие преимущества синтетических носителей?

Тема 5. Способы синтеза промышленных катализаторов.

Метод осаждения контактных масс. Операции растворения, осаждения, фильтрования, промывки, формования, сушки и прокали. Условия их проведения, аппаратное оформление

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Окончательные свойства катализаторов формируются под действием реакционной среды. Изменения состава катализаторов в процессе реакции могут быть следующими:

- 1) химические изменения, приводящие к фазовым превращениям активного компонента;
- 2) изменения объемного состава без фазовых превращений;
- 3) изменения состава поверхностного слоя катализатора.

Воздействие реакционной среды может привести к изменению соотношения компонентов, входящих в состав катализатора, а также к растворению новых компонентов или частичному удалению старых.

Отравление катализатора — это частичная или полная потеря активности под действием небольшого количества веществ, называемых контактными ядами или ингибиторами. Яды полностью снижают активность катализатора. При отравлении контактных масс различают истинное отравление (необратимое, обратимое, кумулятивное и благоприятствующее) и дезактивация в результате блокировки и спекания.

Истинное отравление. Этот вид отравления наступает при химическом взаимодействии яда с катализатором с образованием каталитически неактивного соединения или в результате активированной адсорбции яда на неактивных центрах катализатора.

Отравление может быть обратимым, необратимым, кумулятивным.

Кумулятивное (накапливающееся) отравление выражается в прогрессирующей дезактивации катализаторов под действием малых количеств ядов, содержащихся в реагентах. Благоприятствующее отравление катализаторов происходит, когда вводимые в катализатор яды частично подтравливают отдельные активные центры катализаторов. Этим обеспечивается то, что моле-

кулы яда тормозят образование конечного продукта реакции или снижают образование промежуточных продуктов реакции.

Дезактивация в результате блокировки и спекания.

Активность катализатора может уменьшаться вследствие изменения структурных характеристик, а также при механическом экранировании поверхности катализатора пылью или твердыми веществами, образующимися при катализе (блокировка).

ЗАДАНИЯ

1. Провести анализ воздействия реакционной среды на изменение соотношения компонентов, входящих в состав катализатора.
2. Привести примеры благоприятствующего отравления катализаторов.
3. Начертить графики зависимости активности катализатора от степени отравления катализатора.
4. Укажите основные причины физической и химической дезактивации катализатора.

ВОПРОСЫ

1. В каких процессах больше всего проявляются процессы зауглероживания катализатора?
2. Какие изменения состава катализаторов могут быть в каталитическом процессе реакции?
3. Как влияет энергия активации катализатора при его химическом отравлении?
4. В чем заключается процесс отравления катализатора?
5. Какое бывает отравление катализаторов?
6. Как происходит обратимое, необратимое и кумулятивное (накапливающееся) отравление?
7. Что дает применение благоприятствующего отравления в каталитических процессах?

Тема 6. Катализаторы, применяемые в нефтепереработке.

Требования к носителям промышленных гетерогенных катализаторов на цеолитной основе.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Состав, структура и свойства цеолитов

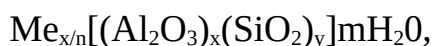
Цеолиты применяются в разных отраслях промышленности. Они используются в качестве осушителей углеводородных газов, для выделения н-парафиновых углеводородов из парафинистых нефтяных фракций, в медицинских целях, в хроматографии, в качестве активных наполнителей при производстве промышленных катализаторов крекинга, изомеризации н-парафинов, гидрокрекинга и десульфирования.

При подборе цеолитов для каждого из направлений его применения учитывают их химический состав, текстуру, природу катионов в решетке цеолитов. Химический состав цеолитов определяется его модулем, т. е. соотношением оксидов $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$.

Текстура связана с модулем цеАлой, а также его типом — NaA, NaX, CaX, CaY, морденит, сверхвысококремнеземные цеолиты. В составе цеолитов, как правило, присутствуют ионы одно-, двух- и трехвалентных металлов, цеолиты также могут производиться в H-форме.

Структура цеолитов

Цеолиты представляют собою каркасные кристаллические алюмосиликаты. Их химический состав может быть представлен общей формулой, отражающей состав элементарной ячейки, в таком виде:



где Me — катионы с валентностью n; m — число молекул воды; y/x — мольное отношение оксида кремния к оксиду алюминия в цеолите. В квадратные скобки заключен состав элементарной ячейки, которую в цеолите называют содалитовой ячейкой.

Идеализированная проекция элемента содалитовой ячейки, в которой

на пересечении линий в узлах располагаются $[\text{AlO}_4]^{5-}$ и $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -тетраэдры, середина линий определяет общий кислород у тетраэдров, римские цифры указывают местоположение ионов Me^+ .

В содалитовой ячейке выделены квадратные и гексагональные каналы, квадратные каналы имеют диаметр 0,4—0,5 нм, а гексагональные — 0,6—0,9 нм. Цеолиты являются тонкопористыми твердыми телами, в которых основную долю объема решетки занимают ионы O^{2-} (порядка 90%), остальное пространство занимают ионы Al^{3+} , Si^{4+} , Na^+ и другие. Эти полости выстланы электромагнитным полем, которое формируют ионы O^{2-} , и малая часть — ионами Al^{3+} и Si^{4+} . В центра ячейки имеется полость большего диаметра — порядка 0,9—1,5 нм. Цеолиты, имея каналы различного диаметра, могут проявлять ситовое разделение углеводов.

Это свойство цеолитов и используют в промышленности для осушки газов, для выделения н-парафиновых углеводов и других процессов.

В цеолитах тетраэдры $[\text{AlO}_4]$ и $[\text{SiO}_4]$ связаны друг с другом вершинами и ориентированы наружу гранью и ребрами. Такие тетраэдры и решетка называются «островными» или изолированными. Цеолиты при такой ориентации тетраэдров являются высокоактивными адсорбентами и катализаторами. В элементе содалитовой ячейки расположение катионов Me^{n+} внутри и вне гексагональных и квадратных сечений обозначено индексами I и I', II и II'. Эти ионы могут подвергаться замене изводных растворов на другие Аны.

Свойства цеолитов зависят от соотношения $[\text{AlO}_4]$ - и $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдров в гексагональных и квадратных сечениях. В гексагональных сечениях число $[\text{AlO}_4]$ -тетраэдров может меняться от 1 до 5, а в квадратных — от 1 до 3.

Таким образом, в содалитовой ячейке имеются гексагональные, квадратные и и-полости и в этих полостях развиваются различные по силе электростатические поля. Внутри пор цеолита превращение молекул будет более полным, чем на внешних центрах и в и-полости.

Классификация цеолитов

Цеолиты классифицируют по размеру пор в содалитовой ячейке, модулю M — соотношению оксидов $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, типу катионов, входящих в каналы содалитовой ячейки. По размеру пор цеолиты подразделяют на типы А, Х, Y, Z и т. д. Буквой А обозначают цеолиты с преобладающим размером пор 0,5 нм и модулем $M \text{ SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2$, Х — с размером пор 1,0 нм и $M = 2-3$, Y — с размером пор 1,0—1,3 нм и $M = 4-5,5$ и т.д.

Цеолиты с модулем до 5 называют низкокремнеземными, с $M = 5,6-10$ — высококремнеземными, с $M > 10$ — ультравысок кремнеземными. Цеолиты с модулем $M = 4$ называют «шабазитами», с $M = 6$ — эрионитом, с $M = 10$ — морденитом.

Перед индексами структуры цеолита ставится индекс иона металла, который входит в содалитовую ячейку. Тогда полное обозначение цеолита представляется в таком виде: NaA, NaX, NaY, CaA, CaX, CaY и т. д.

Активность цеолитов при изменении модуля

Цеолиты можно синтезировать вначале с небольшой величиной модуля, в пределах 0,5—1,0, а затем величину модуля можно менять, проводя процесс деалюминирования цеолита в водном растворе этилендиаминтетрауксусной кислоты. Это соединение извлекает из решетки $[\text{AlO}_4]$ –тетраэдры, которые замещаются $[\text{SiO}_4]$ –тетраэдрами. Модуль цеолита при деалюминировании возрастает. При изменении величины модуля M будет меняться активность цеолита и селективность в химических реакциях превращения органических соединений.

ЗАДАНИЯ

1. Дайте развернутую характеристику цеолитам.
2. Начертите график зависимости активности цеолита от изменения его модуля.
3. Сравните каталитические свойства следующих цеолитов: шабазита, эрионита и морденита, и составьте таблицу.

ВОПРОСЫ

1. Что такое цеолит?
2. По какому принципу классифицируются цеолиты?
3. Как отличаются отечественная и зарубежная классификации цеолитов?
4. Чем характеризуется кристаллическая структура цеолита?
5. Как изменяется активность цеолитов при изменении его модуля?
6. Какие существуют методы производства цеолитов?
7. Что такое содалитовая ячейка цеолита?
8. Записать общую формулу состава элементарной ячейки цеолита.
9. От чего зависят свойства цеолитов?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа: «Гилем», 2002. – 671 с.
2. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа / С.А. Ахметов, М.Х. Ишмияров, А.П. Вережкин и др. – М.: Химия, 2005. – 736 с.
3. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев и др. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
4. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. В 2 ч. Часть вторая. Деструктивные процессы. – М.: КолосС, 2007. – 334 с.
5. Переверзев А.Н. Технология нефти и газа. Уч. пособие. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2005. - 143 с.

Дополнительная литература:

1. Справочник нефтепереработчика / Под редакцией Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко, М.Г. Рудина. - Л.: Химия, 1986.- 648 с.
2. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов. - М.: Недра, 2000.- 677с.
3. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. - М.: изд-во "Техника", 2001.- 384 с.
4. Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. Химия и технология нефти и газа. - Л.: Химия, 1985. – 408 с.
5. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти. – Л.: Химия, 1985. – 280 с.
6. Капустин В.М., Кукес С.Г., Бертолусини Р.Г. Нефтеперерабатывающая промышленность США и бывшего СССР. - М.: Химия, 1995. – 304 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра неорганической и физической химии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К самостоятельным занятиям по дисциплине

по дисциплине

«Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов»

Направление подготовки/специальность	21.03.01 Нефтегазовое дело
Направленность (профиль)/специализация	«Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта, хранения и переработки нефти и газа»
Форма обучения	очная
Год начала обучения	
Реализуется в	6 семестре

Ставрополь
2026 г.

Введение

2. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» является формирование набора общепрофессиональных и профессиональных компетенций выпускника по направлению подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело. Основные задачи изучения дисциплины:

- заложить основу знаний по теории и практике применения гетерогенных катализаторов и адсорбентов в различных процессах переработки нефти и газа;
- дать представления о составе, строении, свойствах и механизмах действия, наиболее распространенных промышленных каталитических систем;
- сформировать научный подход к подбору катализаторов для конкретных процессов;
- дать представления о технологии производства применяемых в отрасли катализаторов.

Задачи изучения дисциплины состоят также в приобретении студентами теоретических знаний и практических навыков, необходимых будущим бакалаврам для принятия технически и экономически обоснованных решений при:

- планировании и проведении научных исследований с целью создания новых процессов и модернизации существующих установок переработки нефти и газа;
- проектировании новых технологических схем, выборе параметров технологического режима, расчете и выборе оборудования;
- анализе и оценке альтернативных вариантов технологической схемы и отдельных узлов;
- анализе научно-технической литературы и проведении патентного поиска.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.О.03. «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» относится к дисциплинам направленности (профиля) «Химическая технология топлива и углеродных материалов » (обязательная часть). Ее освоение происходит в 6 семестре.

В результате освоения дисциплины «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов» у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

Код	формулировка компетенции
ПК-1	Способен обеспечить технологическое сопровождение процесса переработки нефти, газа и химического сырья

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание следующие положения.

Дисциплина (модуль) построена по тематическому принципу, каждая тема представляет собой логически заверченный раздел.

Лекционный материал посвящен рассмотрению ключевых, базовых положений курсов и разъяснению учебных заданий, выносимых на

самостоятельную работу студентов (включается при наличие соответствующих занятий).

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области (включается при наличие соответствующих занятий).

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовку к практическим и лабораторным занятиям, а также выполнения всех видов самостоятельной работы.

ЗАДАНИЯ

1. Провести анализ воздействия реакционной среды на изменение соотношения компонентов, входящих в состав катализатора.
2. Привести примеры благоприятствующего отравления катализаторов.
3. Начертить графики зависимости активности катализатора от степени отравления катализатора.
4. Укажите основные причины физической и химической дезактивации катализатора.

ВОПРОСЫ

5. В каких процессах больше всего проявляются процессы зауглероживания катализатора?
6. Какие изменения состава катализаторов могут быть в каталитическом процессе реакции?
7. Как влияет энергия активации катализатора при его химическом отравлении?
8. В чем заключается процесс отравления катализатора? Какое бывает отравление катализаторов?

ЗАДАНИЯ

1. Дайте развернутую характеристику цеолитам.
2. Начертить график зависимости активности цеолита от изменения его модуля.
3. Сравнить каталитические свойства следующих цеолитов: шабазита, эрионита и морденита, и составить таблицу.

ВОПРОСЫ

1. Что такое цеолит?
2. По какому принципу классифицируются цеолиты?
3. Как отличаются отечественная и зарубежная классификации цеолитов?
4. Чем характеризуется кристаллическая структура цеолита?
5. Как изменяется активность цеолитов при изменении его модуля?
6. Какие существуют методы производства цеолитов?
7. Что такое содалитовая ячейка цеолита?
8. Записать общую формулу состава элементарной ячейки цеолита.
9. От чего зависят свойства цеолитов?

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить все виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

Капустин, В. М. Технология переработки нефти : в 4 ч. Ч. 2. Физико-химические процессы / В. М. Капустин, А. А. Гуреев. - М. : Химия, 2015. - 400 с.

Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов / С.А. Ахметов. - СПб. : Недра, 2013. - 544 с.

Переработка нефти : теоретические и технологические аспекты / под ред. Н. Г. Дигурова, Б.П. Туманяна. - М. : Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП, 2012. - 496 с.

Перечень дополнительной литературы:

Мейерс, Р.А. (ред.). Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3- го изд. / Р.А. Мейерс (ред.) ; [пер. с англ. 2-го изд.] ; под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. - СПб: ЦОП «Профессия», 2011. - 944 с.

Колесников, И. М. Катализ и производство катализаторов / И. М. Колесников ; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. - М. : Техника, 2004. - 400 с.

Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие / С. А. Ахметов. - Уфа : Гилем, 2002. - 672 с.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Овчаров С.Н. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов». - Ставрополь, 2016 (электронный вариант).

Овчаров С.Н. Методические указания к самостоятельной работе дисциплине «Основы гетерогенного катализа и производство катализаторов». - Ставрополь, 2016 (электронный вариант).

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

www.biblioclub.ru -электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»;

электронная библиотечная система «IPRbooks»;

<https://www.rsl.ru> - Российская государственная библиотека (РГБ);

<http://www.scopus.com> - электронная база данных «Scopus».

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая

перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Информационные технологии:

Должен быть обеспечен доступ обучающихся к электронным базам данных и библиотечным фондам, электронным архивам научных изданий. Во время самостоятельной подготовки студенты должны быть обеспечены безопасным индивидуальным доступом к сети Интернет.

Информационные справочные системы:

<http://uisrussia.msu.ru> - Университетская информационная система
РОССИЯ;