


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

Химический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана ХФ


А.С. Князев

08 _____ 20 22 г.

Фонд оценочных средств

Гетерогенный катализ

по специальности

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Специализация:

«Фундаментальная и прикладная химия»

Форма обучения

Очная

Квалификация

Химик. Преподаватель химии

Год приема

2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.1.ДВ.01.05.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП


В.В. Шелковников

Председатель УМК


Л.Н. Мишенина

Томск – 2022

1 Паспорт фонда оценочных средств

Направление подготовки	04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия
Дисциплина	Гетерогенный катализ
Семестр обучения	7
Общий объем дисциплины, ЗЕ	4
Формы текущего контроля	Устный опрос, проверочная работа, реферат, кейс-задача, решение задач, доклад, конспект
Форма промежуточной аттестации	экзамен

Оценивание результатов учебной деятельности обучающихся при изучении дисциплины осуществляется по балльно-рейтинговой системе.

2 Перечень формируемых компетенций и уровни их освоения

Изучение дисциплины «Гетерогенный катализ» направлено на формирование следующих компетенций:

Коды и содержание компетенций по СУОС	Индикаторы достижения компетенций согласно ООП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.	<p>ИОПК-1.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.</p> <p>ИОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.</p>	<i>Допороговый уровень</i>	<p><i>Знать:</i> затрудняется в формулировке сущности, закономерностей катализа и особенностей гетерогенного катализа; затрудняется в формулировке особенностей кинетики гетерогенных каталитических реакций, принципов каталитического действия для основных классов каталитических реакций, основных направлений развития гетерогенного катализа.</p> <p><i>Уметь:</i> не ориентируется в вопросах гетерогенного катализа, закономерностях каталитических превращений различных веществ; не способен разобраться в основных видах каталитических систем, имеющих промышленно-важное значение; затрудняется выполнить кинетические расчеты для гетерогенных каталитических реакций.</p>

	<p>ИОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.</p>		<p><i>Владеть (обладать навыками):</i> не способен использовать необходимые знания в области исследования и применения гетерогенных катализаторов для решения фундаментальных и прикладных задач.</p>
		<p><i>Пороговый уровень</i></p>	<p><i>Знать:</i> имеет представление о сущности, закономерностях катализа и особенностях гетерогенного катализа, об основах и особенностях кинетики гетерогенных каталитических реакций, о принципах каталитического действия для основных классов каталитических реакций, основных направлениях развития теоретических представлений в катализе, но при ответах допускает много ошибок. <i>Уметь:</i> ориентируется, но допускает ошибки при обсуждении вопросов гетерогенного катализа, закономерностей каталитических превращений различных веществ, основных видов каталитических систем, имеющих промышленно-важное значение; может выполнять простые кинетические расчеты для гетерогенных каталитических реакций, но допускает существенные ошибки для более сложных случаев. <i>Владеть (обладать навыками):</i> владеет необходимыми знаниями в области исследования и применения гетерогенных катализаторов и каталитических процессов на границах раздела фаз</p>

			газ-твердое тело и жидкость-твердое тело, но делает много ошибок при их использовании для решения фундаментальных и прикладных задач.
		<i>Достаточный уровень</i>	<p><i>Знать:</i> Знает сущность, основные закономерности катализа и особенности гетерогенного катализа, основы и особенности кинетики гетерогенных каталитических реакций, принципы каталитического действия для основных классов каталитических реакций, основные направления развития теоретических представлений о предвидении каталитического действия, возможности современных физических методов исследования свойств катализаторов и изучения их каталитической активности, но при ответах допускает некоторые неточности.</p> <p><i>Уметь:</i> хорошо ориентируется при обсуждении вопросов гетерогенного катализа, закономерностей каталитических превращений различных веществ, основных видов каталитических систем, имеющих промышленно-важное значение, но допускает небольшие неточности; может выполнять кинетические расчеты для гетерогенных каталитических реакций, но допускает небольшие ошибки.</p> <p><i>Владеть (обладать навыками):</i> показывает хорошие знания в области исследования и применения</p>

		<p>гетерогенных катализаторов и каталитических процессов на границах раздела фаз газ-твердое тело и жидкость-твердое тело и владеет навыками их использования для решения фундаментальных и прикладных задач, но допускает некоторые ошибки.</p>
		<p><i>Продвинутый уровень</i></p> <p><i>Знать:</i> превосходно знает основные закономерности катализа и особенности гетерогенного катализа, основы и особенности кинетики гетерогенных каталитических реакций, принципы каталитического действия для основных классов каталитических реакций, основные направления развития теоретических представлений о предвидении каталитического действия.</p> <p><i>Уметь:</i> отлично ориентируется при обсуждении вопросов гетерогенного катализа, закономерностей каталитических превращений различных веществ, основных видов каталитических систем, имеющих промышленно-важное значение; может выполнять кинетические расчеты для гетерогенных каталитических реакций.</p> <p><i>Владеть (обладать навыками):</i> имеет отличные знания в области исследования и применения гетерогенных катализаторов и каталитических процессов на границах раздела фаз газ-твердое тело и жидкость-твердое тело и</p>

			безупречно владеет навыками их использования для решения фундаментальных и прикладных задач
ОПК-2. Способен проводить химический эксперимент с использованием современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности.	ИОПК-2.1. Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности.	<i>Допороговый уровень</i>	<i>Знать:</i> не знает основных видов каталитических систем и методы их приготовления; не ориентируется в возможностях современных физических методов исследования свойств катализаторов. <i>Уметь:</i> не способен проводить синтез и исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов. <i>Владеть (обладать навыками):</i> не владеет необходимыми знаниями в области синтеза и исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов.
	ИОПК-2.2. Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач профессиональной деятельности.		ИОПК-2.3. Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования

			<p>квалифицированного специалиста. <i>Владеть (обладать навыками):</i> владеет необходимыми знаниями в области синтеза и исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов, но делает много ошибок при их использовании.</p>
		<i>Достаточный уровень</i>	<p><i>Знать:</i> знает основные виды каталитических систем и методы их приготовления; хорошо ориентируется в возможностях современных физических методов исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов, но при ответах допускает некоторые неточности. <i>Уметь:</i> может после дополнительного обучения проводить синтез гетерогенных катализаторов и исследовать их химический и фазовый состав с использованием физических методов, но допускает некоторые ошибки в расчетах и/или интерпретации полученных результатов. <i>Владеть (обладать навыками):</i> владеет необходимыми знаниями в области синтеза и исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов, но допускает некоторые ошибки.</p>
		<i>Продвинутый уровень</i>	<p><i>Знать:</i> превосходно знает основные виды каталитических систем и методы их приготовления;</p>

			<p>хорошо ориентируется в возможностях современных физических методов исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов.</p> <p><i>Уметь:</i> может после дополнительного обучения самостоятельно проводить синтез гетерогенных катализаторов и исследование их химического и фазового состава с использованием физических методов.</p> <p><i>Владеть (обладать навыками):</i> владеет необходимыми знаниями в области синтеза и исследования химического и фазового состава гетерогенных катализаторов.</p>
<p>ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.</p>	<p>ИПК-1.1. Разрабатывает стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.</p> <p>ИПК-1.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.</p>	<p>Допороговый уровень</p>	<p><i>Знать:</i> не знает методы исследования состава, структуры, кислотно-основных, окислительно-восстановительных и каталитических свойств гетерогенных катализаторов для составления общего и/или детального плана исследования.</p> <p><i>Уметь:</i> не способен проводить системные исследования в области катализа по приоритетным направлениям, использовать приобретенные знания при решении профессиональных задач.</p> <p><i>Владеть (обладать навыками):</i> не владеет подходами к планированию исследования физико-химических и каталитических свойств гетерогенных катализаторов.</p>

		<p>Пороговый уровень</p>	<p><i>Знать:</i> знает методы исследования состава, структуры, кислотно-основных, окислительно-восстановительных и каталитических свойств гетерогенных катализаторов, но плохо ориентируется в них для составления общего и/или детального плана исследования.</p> <p><i>Уметь:</i> может проводить ряд исследований в области катализа по приоритетным направлениям, использовать приобретенные знания при решении несложных профессиональных задач, но делает много ошибок.</p> <p><i>Владеть (обладать навыками):</i> поверхностно владеет подходами к планированию исследования физико-химических и каталитических свойств гетерогенных катализаторов.</p>
		<p>Достаточный уровень</p>	<p><i>Знать:</i> хорошо знает методы исследования состава, структуры, кислотно-основных, окислительно-восстановительных и каталитических свойств гетерогенных катализаторов для составления общего и/или детального плана исследования, но допускает некоторые ошибки.</p> <p><i>Уметь:</i> способен проводить систематические исследования в области катализа по приоритетным направлениям, использовать приобретенные знания при решении профессиональных задач,</p>

			но допускает небольшие ошибки. <i>Владеть (обладать навыками):</i> хорошо владеет подходами к планированию исследования физико-химических и каталитических свойств гетерогенных катализаторов.
		Продвинутый уровень	<i>Знать:</i> отлично знает методы исследования состава, структуры, кислотно-основных, окислительно-восстановительных и каталитических свойств гетерогенных катализаторов и хорошо ориентируется в них для составления общего и/или детального плана исследования. <i>Уметь:</i> способен самостоятельно проводить систематические исследования в области катализа по приоритетным направлениям, использовать приобретенные знания при решении профессиональных задач. <i>Владеть (обладать навыками):</i> свободно владеет подходами к планированию исследования физико-химических и каталитических свойств гетерогенных катализаторов.

Уровни и шкала оценивания сформированности компетенций

Допороговый уровень	Соответствует оценке «неудовлетворительно», предполагает несформированность компетенций на достаточном уровне. Студент имеет пробелы по отдельным теоретическим разделам и не владеет основными умениями и навыками.
Пороговый уровень	Соответствует оценке «удовлетворительно», предполагает сформированность компетенций на достаточном уровне. Студент имеет недостаточно глубокие

	знания по отдельным теоретическим разделам, показал не все основные умения и навыки.
Достаточный уровень	Соответствует оценке «хорошо», предполагает сформированность компетенций на достаточно хорошем уровне. Студент изучил все теоретические вопросы, показал основные умения и навыки.
Продвинутый уровень	Соответствует оценке «отлично», предполагает сформированность компетенций на высоком уровне. Студент показал творческое отношение к обучению, в совершенстве овладел всеми теоретическими вопросами дисциплины, показал все требуемые умения и навыки.

2 Этапы формирования компетенций и оценочные средства (текущая аттестация)

2.1 Виды оценочных средств

№	Контролируемые темы/разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Код индикатора достижения компетенции согласно ОПП
1	Тема 1. Введение. Основные особенности катализа. Значение явления катализа. История развития науки.	Устный опрос	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3.
2	Тема 2. Природа каталитического действия. Гетерогенный катализ твердыми катализаторами	Проверочная работа	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3.
3	Тема 3. Основные понятия катализа: активность, селективность. Методы исследования каталитических свойств гетерогенных катализаторов.	Реферат, кейс-задача	ИОПК 1.1., ИОПК 1.2., ИОПК 1.3., ИПК 1.1., ИПК 1.2.
4	Тема 4. Кинетика каталитических реакций	Проверочная работа, решение задач	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3.
5	Тема 5. Кислотно-основной катализ	Проверочная работа	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3.
6	Тема 6. Катализ оксидами	Проверочная работа, реферат, доклад, конспект	ИОПК 1.1., ИОПК 1.2., ИОПК 1.3.
7	Тема 7. Катализ металлами.	Проверочная работа, кейс-задача	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3., ИОПК 2.2., ИОПК 2.3., ИПК 1.1., ИПК 1.2.
8	Тема 8. Основы предвидения каталитического действия	Устный опрос	ИОПК 1.1., ИОПК 1.3.

2.2 Содержание оценочных средств

2.2.1 Проверочная работа

Проверочная работа используется как средство промежуточного контроля остаточных знаний и умений студентов после завершения изучения материала тематического раздела на лекционных и практических занятиях, состоящее из нескольких вопросов или заданий, в том числе в форме теста.

Пример 1

Проверочная работа №1, В I

1. Гетерогенный катализ – это явление ускорения скорости химической реакции в присутствии веществ-катализаторов, при котором...

- А) катализатор и реагирующие вещества находятся в разных фазах.
- Б) твердые тела катализируют реакции молекул в газовых смесях.
- В) катализатор и реагирующие вещества находятся в одной фазе.

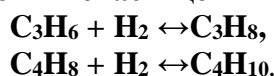
- Г) твердые тела катализируют реакции молекул в газовых смесях или растворах.
 Д) реакция начинается (инициируется) на поверхности твердого катализатора и далее продолжается в газовой или жидкой фазе за счет вылета с поверхности активных промежуточных частиц.

Определением чего являются остальные выражения?

2. Изменяет ли катализатор состав равновесной газовой смеси?

- А) Да.
 Б) Нет.
 В) При высоком давлении.
 Г) При высокой температуре.

3. Металлический никель успешно катализирует процесс гидрирования двойных связей в ненасыщенных углеводородах типа пропилена и бутена:



Может ли этот металл катализировать процесс дегидрирования алканов типа пропана и бутана?

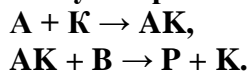
- А) Да.
 Б) Нет.

Почему?

4. На каком из профилей потенциальной энергии вдоль координаты реакции

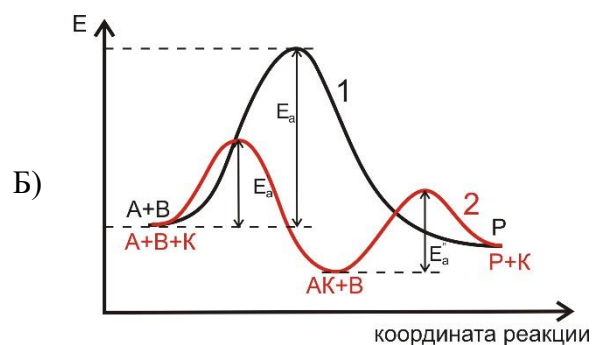
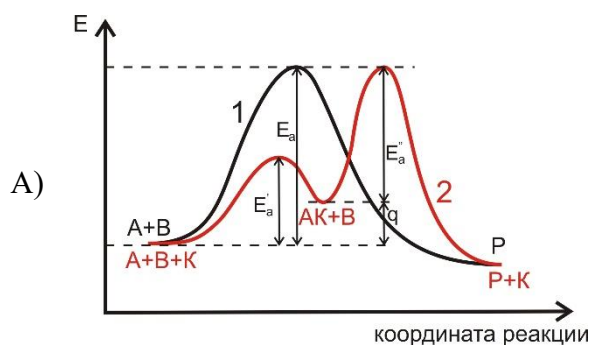


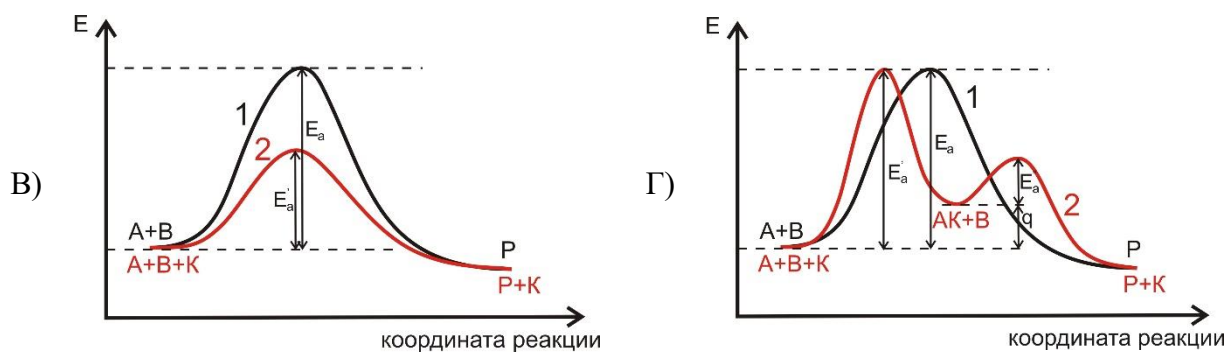
изображен реакционный путь каталитической реакции, протекающей по стадийному механизму с образованием одного стабильного промежуточного продукта:



1 – профиль реакции без катализатора;

2 – профиль реакции в присутствии катализатора





5. Принцип действия гетерогенного катализатора заключается в том, что

- А) катализатор увеличивает площадь контакта реагентов за счет развитой удельной поверхности.
- Б) катализатор вступает в промежуточное химическое взаимодействие с реагентами, направляя реакцию по пути с наименьшим энергетическим барьером.
- В) катализатор координирует реагенты на поверхности определённым образом, облегчая их взаимодействие.

6. Что является мерой каталитической активности катализатора?

- А). Количество исходного реагента, которое данное количество катализатора способно переработать в единицу времени при заданных составе реакционной среды и температуре.
- Б) Доля исходного вещества, превращенного в продукты реакции, по отношению к его исходному количеству.
- В) Доля превращенного исходного реагента, израсходованная на образование данного продукта в соответствии со стехиометрией.

7. Дифференциальная селективность – это ...

А). это доля превращенного исходного реагента, израсходованная на образование данного продукта в соответствии со стехиометрией, т.е. $S = \frac{n_p C_p}{\sum_i n_i C_i}$.

Б) отношение общего количества определенного продукта, образовавшегося при конечном изменении степени превращения исходного вещества, к теоретически возможному, т.е. $S = \frac{C_p}{n_i/n_A \cdot C_{A0} \cdot X_A}$.

В) отношение скорости накопления соответствующего продукта к суммарной скорости превращения соответствующего вещества по всем направлениям, протекающим на данном катализаторе в тех же условия, т.е. $S = \frac{w_p}{\sum w_i}$.

Г) доля исходного вещества, превращенного в продукты реакции, по отношению к его исходному количеству, т.е. $S = \frac{C_A - C_{A0}}{C_{A0}}$.

Пример 2

Проверочная работа №4, I В

1. Применение теории кристаллического поля и теории поля лиганда к явлениям адсорбции и катализа основано на...

- А) изменении природы лиганда в координационной сфере катиона металла при взаимодействии с реагентом.
- Б) их рассмотрении как процессов комплексообразования с увеличением числа лигандов.
- В) изменении степени окисления катиона металла при взаимодействии с реагентом.

2. Основное отличие теории поля лигандов и теории кристаллического поля состоит в...

- А) использовании представления о расщеплении d-орбиталей в поле лигандов;
- Б) учете строения лигандов;
- В) порядке заполнения d-орбиталей в сильном и слабом полях лигандов.

3. На основе анализа представленных в таблице данных укажите, по какому механизму протекает окисление водорода на оксиде ванадия V₂O₅.

Таблица – Сопоставление скорости каталитической реакции окисления водорода на оксидах металлов со скоростями стадий взаимодействия с катализатором водорода и кислорода.

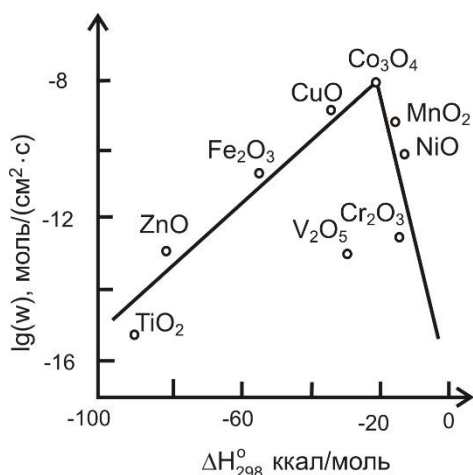
Оксид	Т, К	Процесс	P _{H₂} , кПа	P _{O₂} , кПа	Скорость процесса $w \cdot 10^3$, см ³ /м ² ·мин	E, кДж/моль	Порядок по	
							H ₂	O ₂
Fe ₂ O ₃	498	Катализ	0,83	26,66	1,36	80	0,7	0
		Восст-ние	0,83		1,50	88	0,7	-
		Окисление	-	0,83	1,50	15	-	0
Co ₃ O ₄	335	Катализ	0,83	26,66	1,27	54	0,7	0
		Восст-ние	0,83		1,30	67	0,8	-
		Окисление	-	0,83	1,30	21-25	-	0
ZnO	573	Катализ	0,83	26,66	0,25	92	0,7	0
		Восст-ние	0,83		0,26	84	0,8	-
		Окисление	-	0,83	0,26	-	-	0
V ₂ O ₅	713	Катализ	0,83	26,66	1,24	88	1	0
		Восст-ние	0,83		0,7	96	1	-
		Окисление	-	0,83	0,7	50	-	0

- А) Реакция протекает по слитному механизму.
- Б) Реакция протекает по стадийному механизму.
- Г) Реакция протекает параллельно по стадийному и слитному механизмам.

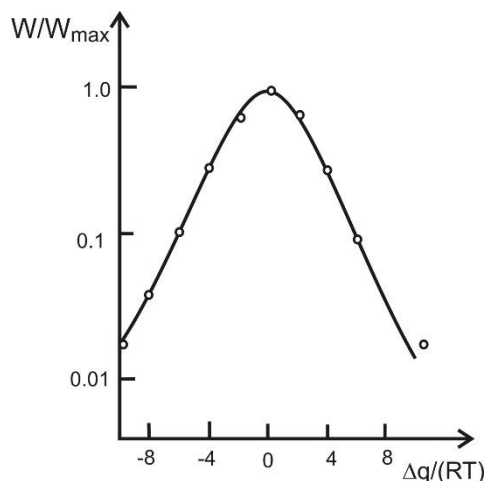
4. Механизм Ленгмюра-Хиншельвуда представляет...

- А) слитный механизм каталитического окисления на оксидных катализаторах.
- Б) стадийный механизм каталитического окисления на оксидных катализаторах.
- В) схему каталитического окисления на оксидных катализаторах, описывающую слитное или стадийное протекание процесса в зависимости от условий его проведения.

5. В чем физический смысл зависимости энергии активации или скорости реакции от различных параметров, включающих энергии связи/теплоты реакции в виде «вулканообразной» кривой, наблюдаемой различными авторами?



Зависимость каталитической активности оксидов в окислении водорода при 150°C от энергии образования промежуточных соединений по В.А. Ройтеру и Г.И. Голдцу в предположении образования низших оксидов



Относительное изменение скорости реакции при отклонении энергии связи q от оптимальной, полученное на основе соотношения Бренстеда-Поляни, α₁=α₂=0,5

- А) Скорость реакции увеличивается с уменьшением энергии связи/теплоты реакции.
- Б) Максимальная скорость каталитической реакции достигается при оптимальной энергии связи реагентов с катализатором.
- В) Скорость реакции увеличивается с ростом энергии связи/теплоты реакции.

6. Уравнение Бренстеда-Поляни-Семенова представляет...

- А) теоретическое уравнение, связывающее энергию активации (кинетический параметр) и энтальпию (термодинамический параметр) для серии реакций, протекающих по одному и тому же механизму.
- Б) корреляционное соотношение, связывающее энергию активации (кинетический параметр) и энтальпию (термодинамический параметр) для серии реакций, протекающих по одному и тому же механизму.
- В) теоретическое уравнение, связывающее энергию активации (кинетический параметр) и энтальпию (термодинамический параметр) широкого круга реакций.
- В) корреляционное соотношение, связывающее энергию активации (кинетический параметр) и энтальпию (термодинамический параметр) широкого круга реакций.

7. Как зависит скорость реакции для большинства реакций глубокого окисления на оксидах от энергии связи кислорода в катализаторе?

- А) Увеличивается с ростом энергии связи кислорода в катализаторе.
- Б) Увеличивается с уменьшением энергии связи кислорода в катализаторе.
- В) Не зависит от энергии связи кислорода в катализаторе.

8. Селективное (парциальное) окисление – это...

- А) процесс окисления с образованием соединений в промежуточных состояниях окисления.

Б) процесс окисления с образованием конечных, термодинамически устойчивых соединений.

2.2.2 Решение задач

Для промежуточного контроля студентов программой дисциплины предусмотрено выполнение индивидуального задания в виде решения задач на анализ кинетических уравнений, диффузионных режимов и др.

Пример

Задача 1

В рамках кинетической модели Ленгмюра напишите стадии и выведите уравнение для скорости парофазной мономолекулярной реакции дегидратации этанола



протекающей на алюмооксидном катализаторе при температурах 230–400°C. Проанализируйте, как изменится полученное выражение для скорости реакции для следующих условий:

- высокая температура реакции, адсорбция всех веществ мала;
- умеренная температура реакции, сильная адсорбция этанола, адсорбция остальных веществ мала;
- низкая температура реакции, сильная адсорбция этанола и воды.

Для каждого случая указать общий порядок и частные порядки реакций по компонентам, а также эффективную энергию активации E (в нотации энергии активации поверхностной реакции E_a и энтальпии адсорбции компонентов ΔH_i).

2.2.3 Реферат и доклад

Индивидуальные задания в форме реферата и доклада используются как средства привить студентам начальные навыки исследовательской работы, а в случае доклада – и навыков публичного выступления. Реферат и доклад являются продуктами самостоятельной работы студента (СРС), представляющими собой краткое изложение в письменном (реферат) или устном (доклад) виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемого вопроса, приводит различные точки зрения, а также при необходимости собственное понимание проблемы.

Пример методических рекомендаций для подготовки реферата

Реферат «Методы исследования гетерогенных катализаторов»

Методы (выбрать один)

- рентгенофазовый анализ (РФА);
- РФЭС;
- ИК спектроскопия;
- КР спектроскопия (спектроскопия Рамана);
- ПЭМ, дифракция медленных электронов, ЭДА;
- СЭМ, ЭДА;
- ЯМР;
- Электронная спектроскопия или спектроскопия в УФ- и видимом диапазоне;
- Мёссбауэровская спектроскопия;
- ТПР и ТПД методы;
- адсорбционные методы

Что отразить

- Физическая основа метода.
- Что позволяет определить?
- Возможности и ограничения для исследования гетерогенных катализаторов.

Список рекомендуемой литературы

1. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, ООО "Издательство АСТ", 2003. 683 с.
2. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 504 с.
3. Плясова, Л.М. Введение в рентгенографию катализаторов / Новосибирск: Изд-во ИК СО РАН, 2010. 59 с.
4. Плясова Л.М., Булавченко О.А., Кардаш Т.Ю., Кригер Т.А., Молина И.Ю., Цыбуля С.В., Черепанова С.В., Шмаков А.Н. Рентгенография катализаторов в контролируемых условиях температуры и среды / Новосибирск: Институт катализа, 2011. -184 с.
5. Тузиков, Ф.В. Малоугловая рентгеновская дифрактометрия / Новосибирск: Изд-во ИК СО РАН, 2009. 35 с.
6. Методы исследования катализаторов / Ред. Дж.Томас, М.: Мир, 1983.
7. Миначев Х.М., Антошин Г.В., Шпиро Е.С. Фотоэлектронная спектроскопия и ее применение в катализе / М.: Наука, 1981
8. Мухленов И.П. Технология катализаторов. Л.: Химия, 1989. 272 с.
9. Паукштис Е.А. Инфракрасная спектроскопия в гетерогенном кислотно-основном катализе. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 255 с.
10. Паукштис Е.А. Оптическая спектроскопия в адсорбции и катализе. Применение ИК спектроскопии / Новосибирск: Изд-во ИК СО РАН, 2010. 55 с.
11. Оптическая спектроскопия в адсорбции и катализе / Часть 2 Спектроскопия в УФ и Видимом диапазонах. Новые методики колебательной спектроскопии для изучения поверхности. Под редакцией Е.А. Паукштиса. Новосибирск, 2012. 99 с.
12. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 679 с.

2.2.4 Конспект

Конспект используется в рамках практического занятия по теме «Методы исследования гетерогенных катализаторов», проводимого в форме конференции, как продукт самостоятельной работы обучающихся. Представляет краткую запись основных характеристик рассмотренных в рамках занятия методов (физическая основа, что позволяет определить, возможности и ограничения для исследования гетерогенных катализаторов).

Пример

Форма для конспекта

Метод	Рентгенофазовый анализ (РФА)
Физическая основа метода.	
Что позволяет определить?	
Возможности и ограничения метода для исследования гетерогенных катализаторов.	
Метод	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)
Физическая основа метода.	
Что позволяет определить?	

Возможности и ограничения метода для исследования гетерогенных катализаторов.	
---	--

2.2.5 Кейс-задача

В рамках практических занятий программой предусмотрено использование методик проблемно-ориентированного обучения, в частности, групповых кейс-задач – проблемных заданий, в которых обучающимся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы. Студенты самостоятельно формулируют цель, находят и собирают информацию, в том числе с использованием баз данных Scopus, Web of Science и E-library, анализируют ее, выдвигают гипотезы, ищут варианты решения проблемы, формулируют выводы, обосновывают оптимальное решение ситуации.

Пример

Семинар 1. Методы исследования каталитических свойств

Кейс-задача

Петров Петр Иванович является аспирантом первого года обучения и работает младшим научным сотрудником в Лаборатории каталитических исследований. Научная работа Петрова, выполняемая под руководством профессора N, посвящена разработке эффективных гетерогенных катализаторов селективного окисления пропана (окислительного дегидрирования) и пропилена газообразным кислородом в ценные продукты.

Реакции окислительного дегидрирования пропана до пропилена и окисления пропилена до акролеина являются экзотермическими, протекают на оксидах переходных металлов при температурах 450–550°C и 250–300°C, соответственно, и могут быть осложнены реакциями глубокого окисления.

В рамках выполнения научной работы по теме диссертации Петрову были поставлены задачи определения наиболее подходящего состава катализатора из серии образцов, синтезированных сотрудниками группы приготовления гетерогенных катализаторов, т.е. провести сравнение каталитических свойств образцов (каталитическую активность, конверсию, селективность). Для катализатора оптимального состава необходимо провести подробные кинетические исследования на примере реакции окисления пропана.

В распоряжении Петрова имеются каталитические установки с реакторами различного типа (статические, проточные), позволяющие проводить исследования каталитических свойств в различных условиях. Аспиранту необходимо составить и обосновать подробный план предполагаемых исследований с указанием всех условий и операций.

Оценочные материалы в полном объеме содержатся в Moodle (<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21486>).

2.3 Методические рекомендации

2.3.1 Порядок проведения текущего контроля

Текущий контроль осуществляется на протяжении периода обучения по дисциплине в рамках организации и проведения лекционных занятий, практических занятий, самостоятельной работы студентов. По всем показателям текущего контроля осуществляется оценивание в баллах. Формы текущего контроля и их количество может изменяться при реализации курса, но их вес в итоговой оценке составляет не менее 80%.

Пример оценивания результатов обучения:

2.3.2 Критерии оценивания по видам оценочных средств

Форма контроля	Максимальное количество баллов
Посещение занятий	32
Кейс-задача 1	40
Кейс-задача 2	20
Проверочная работа 1	14
Проверочная работа 2	17
Проверочная работа 3	14
Проверочная работа 4	16
Проверочная работа 5	14
Реферат 1	25
Реферат 2	25
Доклад	20
Конспект	10
Решение задач	60
Экзамен	50
Суммарный рейтинг курса	357

3 Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

3.1 Порядок проведения экзамена

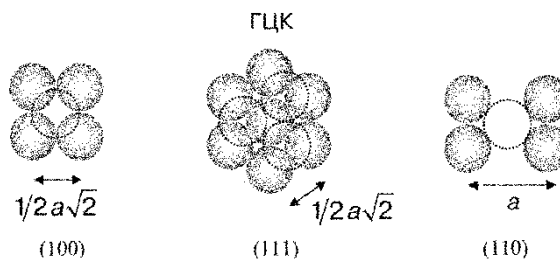
Программой дисциплины предусмотрен письменный экзамен в форме теста. Для допуска к экзамену необходимо получить оценку текущего контроля знаний и набрать не менее 50% баллов от текущего контроля при обязательном выполнении основных заданий, проверяющих ИОПК 1.1., ИОПК 1.2., ИОПК 1.3., ИОПК 2.2., ИОПК 2.3., ИПК 1.1. и ИПК 1.2. Продолжительность экзамена 2 часа. Экзаменационный тест содержит вопросы, проверяющие ИОПК 1.1., ИОПК 1.3. Вес экзамена в итоговой оценке составляет не более 20%.

3.2 Примеры вопросов экзаменационного теста

Вопросы в экзаменационном тесте аналогичны вопросам в контрольных работах при промежуточном контроле после завершения изучения материала тематического раздела на лекциях и практических занятиях.

Вопрос 4. Какая поверхность кристалла металла с ГЦК структурой является более реакционно-активной?

- А) (100)
- Б) (111)
- В) (110)



Почему?

Вопрос 10. Как связаны селективность реакций парциального окисления на оксидах и энергия связи кислорода в катализаторе?

- А) Селективность увеличивается с ростом энергии связи кислорода в катализаторе.
- Б) Селективность увеличивается с уменьшением энергии связи кислорода в катализаторе.
- В) Энергии связи кислорода в катализаторе не влияет на селективность.

Г) Наличие слабосвязанного кислорода в катализаторе существенно снижает селективность реакции, однако в его отсутствие решающее значение имеет характер взаимодействия окисляемого вещества с катализатором.

Вопрос 20. В чем заключается основное различие механизмов мономолекулярной каталитической реакции $A \rightarrow B$, протекающей по стадийному механизму с образованием одного стабильного промежуточного продукта, в случае Ленгмюровской и неленгмюровской кинетики? Выведенные на их основе кинетические уравнения имеют следующий вид:

$$w = k \frac{b_A p_A}{1 + b_A p_A + b_B p_B} \quad \text{уравнение Ленгмюра-Хиншельвуда}$$

$$w = k \frac{p_A}{1 + \frac{p_B}{K} + b_B p_B} \quad \text{уравнение, выведенное для неленгмюровской кинетики}$$

- А) Предположение о квазистационарном/стационарном состоянии.
- Б) Предположение о лимитирующей стадии.
- В) Предположение о наличии компонентов, реагирующих непосредственно из газовой фазы.
- Г) Предположение о слабой адсорбции продукта.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации в полном объеме содержатся в «в архиве кафедры» и Moodle (<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21486>).

3.3. Критерии оценивания

Результаты дисциплины определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Итоговая оценка по дисциплине определяется по сумме баллов текущего контроля знаний и экзамена. Соответствие баллов экзаменационной оценке:

- >80% от суммарного рейтинга курса – «отлично»;
- 66–80% от суммарного рейтинга курса – «хорошо»;
- 57–65% от суммарного рейтинга курса – «удовлетворительно»;
- <57% от суммарного рейтинга курса – «неудовлетворительно».