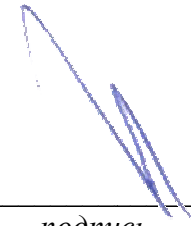


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный  
университет, НГУ)

---

Факультет естественных наук

  
Согласовано  
Декан ФЕН  
Резников В. А.  
\_\_\_\_\_ *подпись*  
« 5 » \_\_\_\_\_ октября \_\_\_\_\_ 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Направление подготовки: 04.06.01 ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Направленность (профиль): Кинетика и катализ

Форма обучения: очная

Разработчик:  
к.х.н. Симонов М.Н.

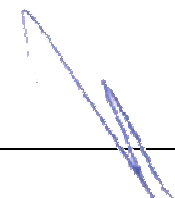
\_\_\_\_\_

Зав. каф. катализа и адсорбции  
академик Бухтияров В.И.

  
\_\_\_\_\_

Ответственный за образовательную программу:  
профессор, д.х.н. В.А. Резников

\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

Новосибирск, 2020

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий	5
5. Перечень учебной литературы	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине	8

Приложение 1 Аннотация по дисциплине

Приложение 2 Оценочные средства по дисциплине

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	УК-1.2 Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные преимущества и недостатки реализации этих вариантов	- знает методы измерения каталитической активности образцов; - аргументированно выбирает метод измерения каталитической активности;
<b>УК-2 Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки</b>	УК-2.3 Анализировать основные методологические проблемы своей профессиональной области в историческом контексте и на современном этапе	Правильно получать и интерпретировать зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов (способ приготовления, химический состав, текстура, форма и размер зерен (блоков) и др.), так и от параметров процессов (давления, температуры реакции, состава контактной реакционной смеси, диффузионных явлений и др.)
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	УК-5.1 Владеть приемами выявления и осознания своих возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Знать способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории.</li> <li>2. Знать методики определения каталитической активности.</li> </ol>
	УК-5.2 Выявлять и формулировать проблемы собственного развития, исходя из этапов профессионального роста и тенденций развития области профессиональной	Эффективно использовать полученные навыки при решении практических задач (подбор новых катализаторов с улучшенными свойствами, исследование кинетики и механизма каталитических реакций, организация

	деятельности	технологического и выходного (входного) контроля качества промышленных катализаторов при их производстве и использовании).
<b>ПК-2 Готовность к поиску и разработке новых, а также к усовершенствованию существующих катализаторов и каталитических процессов для проведения новых химических реакций, а также ускорения известных реакций и повышения их селективности</b>	ПК-2.1 Знать основные типы физико-химических процессов, протекающих на различных этапах синтеза носителей и катализаторов; знать, какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе их синтеза или эксплуатации и способы повышения стабильности катализаторов к действию этих негативных факторов	- измеряет скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства; - правильно получает и интерпретирует зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов (способ приготовления, химический состав, текстура, форма и размер зерен (блоков) и др.), так и от параметров процессов (давления, температуры реакции, состава контактной реакционной смеси, диффузионных явлений и др.)

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина *Современная техника каталитического эксперимента* входит в часть образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.М1.ДВ.2), и изучается в 6 семестре.

Дисциплина «Современная техника каталитического эксперимента» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 04.06.01 – Химические науки направленность Кинетика и катализ по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Современная техника каталитического эксперимента» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по направленности «Кинетика и катализ».

**3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося**

Трудоемкость дисциплины – 3 з.е. (108 ч)

Форма промежуточной аттестации: 6 семестр – дифференцированный зачет

№	Вид деятельности	Семестр
		6
1	Лекции, ч	12
2	Практические занятия, ч	12
3	Лабораторные занятия, ч	18
4	Занятия в контактной форме, ч	44
5	из них	
5	из них аудиторных занятий, ч	42
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	-
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	64
10	Всего, ч	108

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

**6 семестр**  
Лекции (12 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
<b>Раздел 1. Каталитическая активность</b>	
Значение и место каталитических экспериментов при разработке новых катализаторов и каталитических процессов в химических лабораториях. Требования к используемой величине каталитической активности. Возможность использования в качестве необходимой удельной кинетической характеристики скорости реакции, эффективной константы скорости реакции, кажущейся энергии активации, глубины превращения ключевого компонента.	4
<b>Раздел 2. Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории</b>	
Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории.	4

Статические методы. Интегральные и дифференциальные, точные и приближенные проточные методы. Преимущества и недостатки каждого метода.	
Раздел 3. Методики определения каталитической активности	
Методики определения каталитической активности: типовой кинетический эксперимент и решение обратной кинетической задачи. Практическая проверка корректности определения каталитической активности и «безградиентности» проточно-циркуляционного метода. Проведение комплекса исследований по установлению зависимости каталитической активности от температуры реакции и состава контактной реакционной смеси.	4

#### Практические занятия (12 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Семинар 1. Каталитическая активность	4
Семинар 2. Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории	4
Семинар 3. Методики определения каталитической активности	4

#### Лабораторные занятия (18 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Лабораторная работа 1. Каталитическая активность выбранного катализатора при температуре 380°C	2
Лабораторная работа 2. Каталитическая активность выбранного катализатора при температуре 400°C	2
Лабораторная работа 3. Каталитическая активность выбранного катализатора при температуре 420°C	2
Лабораторная работа 4. Каталитическая активность выбранного катализатора при температуре 440°C, определение кажущейся энергии активации	3
Лабораторная работа 5. Каталитическая активность выбранного катализатора при концентрации метана 1,2 об.%	2
Лабораторная работа 6. Каталитическая активность выбранного катализатора при концентрации метана 1,4 об.%	2
Лабораторная работа 7. Каталитическая активность выбранного катализатора при концентрации метана 0,8 об.%	2
Лабораторная работа 8. Каталитическая активность выбранного катализатора при концентрации метана 1,6 об.%, определение формального порядка по метану	3

#### Самостоятельная работа студентов (64 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельная работа во время занятий из них:	48
закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала	10
уточнение и дополнение сведений и знаний, полученных на лекциях	10

выполнение заданий текущего контроля (проверочных работ и расчетных заданий)	10
изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18
Самостоятельная работа во время промежуточной аттестации из них:	16
подготовка к зачету	16

## 5. Перечень учебной литературы

1. Современная техника каталитического эксперимента : учебно-методическое пособие : [для студентов 5 курса ФЕН НГУ / сост. И.Ю. Пахаруков] ; Федер. агентство по образованию, Новосиб. гос. ун-т, Фак. естеств. наук, Каф. катализа и адсорбции. Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2011. 46 с. : ил. ; 20 см.; 8 экземпляров.

## 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

2. Боресков, Георгий Константинович. Катализ : вопросы теории и практики : избранные труды / Г.К. Боресков ; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т катализа ; отв. ред. К.И. Замараев, Г.И. Панов. Новосибирск : Наука, 1987. 536 с. : ил., [1] л. портр. ; 25 см.; режим доступа: [http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=5&SECTION\\_ID=201](http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=5&SECTION_ID=201)

3. Пахаруков И.Ю. Исследование особенностей кинетики гетерогенных каталитических реакций проточно-циркуляционным методом с усовершенствованной постановкой эксперимента. Дисс. на соискание ученой степени кандидата хим. наук, Новосибирск: ИК СО РАН, 2009.

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

### *7.1 Ресурсы сети Интернет*

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту.

### *7.2 Современные профессиональные базы данных:*

Не используются.

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

### *8.1 Перечень программного обеспечения*

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

### *8.2 Информационные справочные системы*

Не используются.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины «Современная техника каталитического эксперимента» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и , промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;
3. Помещение для проведения лабораторных работ оснащено современным оборудованием, включающем проточно-каталитическую установку VI-CATr(Uni), микротермостат колонок, хроматограф ГХ 1000, персональный компьютер.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень результатов обучения по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента» и индикаторов их достижения представлен в разделе 1.

### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента»***

#### ***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости студентов включает выполнение ряда письменных заданий – контрольных работ. Контрольные работы выполняются на занятиях и сдаются студентами в конце занятия. Предусмотрена возможность выполнения контрольных работ студентами самостоятельно дома, что включает решение задач, которые высылаются преподавателю на электронную почту к следующему занятию. Все сданные студентами работы оцениваются по балльной системе (см. таблицу).

Вид деятельности	Количество баллов
Контрольная работа №1 «По знаниям студентов по катализу»	15
Контрольная работа №2 «Каталитическая активность»	30
Контрольная работа №3 «По знаниям студентов по материалу первой лекции»	15
Контрольная работа №4 «Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории»	20
Контрольная работа №5 «По знаниям студентов по материалу второй лекции»	30
Итоговая контрольная работа	110



Анализ научной публикации	50
<b>ИТОГО</b>	<b>270</b>

Эта система предусматривает баллы за контрольные работы и самостоятельную работу, набранные баллы суммируются. Система не предусматривает обязательного итогового зачёта. Аспирант для получения зачёта должен набрать не менее 200 баллов и выполнить лабораторную работу.

Каждая контрольная работа выполняется в строго установленный срок. При прохождении контрольной точки за пределами установленного срока (без уважительной причины) она принимается со «штрафом», т. е. вводится коэффициент 0.5 на каждый набранный сверх 50 % балл.

***Промежуточная аттестация:***

Зачет проходит в устной форме по билетам. В каждый билет включены два теоретических вопроса и одна практическая задача.

***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента»***

Таблица 10.1

<b>Код компетенции</b>	<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочное средство</b>
<b>УК-1</b>	УК-1.2 Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные преимущества и недостатки реализации этих вариантов	- знает методы измерения каталитической активности образцов; - аргументированно выбирает метод измерения каталитической активности;	Дифференцированный зачет
<b>УК-2</b>	УК-2.3 Анализировать основные методологические проблемы своей профессиональной области в историческом контексте и на современном этапе	Правильно получать и интерпретировать зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов (способ приготовления, химический состав, текстура, форма и размер зерен (блоков) и др.), так и от параметров процессов (давления, температуры реакции, состава контактной реакционной смеси, диффузионных явлений и др.)	Дифференцированный зачет
<b>УК-5</b>	УК-5.1 Владеть приемами выявления и осознания	<b>1.</b> Знать способы проведения	Дифференцированный зачет

	своих возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования	<p>кинетических экспериментов в лаборатории.</p> <p>2. Знать методики определения каталитической активности.</p>	
	УК-5.2 Выявлять и формулировать проблемы собственного развития, исходя из этапов профессионального роста и тенденций развития области профессиональной деятельности	Эффективно использовать полученные навыки при решении практических задач (подбор новых катализаторов с улучшенными свойствами, исследование кинетики и механизма каталитических реакций, организация технологического и выходного (входного) контроля качества промышленных катализаторов при их производстве и использовании).	Дифференцированный зачет
<b>ПК-2</b>	ПК-2.1 Знать основные типы физико-химических процессов, протекающих на различных этапах синтеза носителей и катализаторов; знать, какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе их синтеза или эксплуатации и способы повышения стабильности катализаторов к действию этих негативных факторов	<p>- измеряет скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства;</p> <p>- правильно получает и интерпретирует зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов (способ приготовления, химический состав, текстура, форма и размер зерен (блоков) и др.), так и от параметров процессов (давления, температуры реакции, состава контактной реакционной смеси, диффузионных явлений и др.)</p>	Дифференцированный зачет

Таблица 10.2

## 2. Критерии и шкала оценивания результатов обучения по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента»

Дифференцированный зачет проходит в устной форме по билетам. В каждый билет включены два теоретических вопроса и одна практическая задача.

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует глубокие знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает методы измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– умеет измерять скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства,</li> <li>– правильно получает и интерпретирует зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– не допускает грубых ошибок при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Отлично</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает основные методы измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– умеет измерять скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства,</li> <li>– допускает неточности при получении и интерпретации зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– допускает несущественные неточности при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Хорошо</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует общие знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает несколько наиболее часто используемых методов измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– допускает ошибки при измерении скорости каталитических реакций и определении каталитических свойств,</li> <li>– допускает затруднения при получении и интерпретации зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– не допускает грубых ошибок при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Удовлетворительно</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Имеет представление об основных определениях, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– демонстрирует неполное знание или допускает грубые ошибки при изложении сути методов измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– испытывает существенные трудности при измерении скорости каталитических реакций и определении каталитических свойств,</li> <li>– не способен правильно получать и интерпретировать зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса</li> <li>– допускает грубые ошибки при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Неудовлетворительно</i>

**Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

**Примеры типовых заданий контрольных работ**

Тема проверочной работы	Типовое задание
«По знаниям студентов по катализу»	Привести определение каталитической активности
«Каталитическая активность»	Рассмотреть возможность использования степени превращения как меры каталитической активности
«По знаниям студентов по материалу первой лекции»	Почему характер зависимости глубины превращения от количественной характеристики катализатора выглядит как кривая с насыщением?
«Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории»	В чем особенности приближенных и точных интегральных методов проведения кинетических экспериментов в лабораторных условиях? Каковы их основные преимущества и недостатки?
«По знаниям студентов по материалу второй лекции»	Как с помощью точных интегральных и дифференциальных методов определить стационарную скорость каталитической реакции при заданном составе контактной реакционной смеси, то есть каталитическую активность?
Итоговая контрольная работа	Для изучения размерного эффекта вам необходимо при помощи проточного трубчатого реактора испытать два образца – с мелкими (d) и крупными частицами. Опишите порядок ваших действий. Поясните выбор критерия активности и способа его определения. Рассмотрите способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.

**Примерные теоретические вопросы к дифференцированному зачету:**

1. Привести определение каталитической активности.
2. Рассмотреть возможность использования степени превращения как меры каталитических свойств в случаях реализации экспериментов в одинаковых и различных экспериментальных условиях (навеска, время контакта, количество активного компонента). Пояснить по каким причинам данная величина может быть или не может быть мерой каталитической активности?
3. Рассмотреть возможность использования температуры достижения заданной глубины превращения как меры каталитической активности. Пояснить по каким причинам данная величина может быть или не может быть мерой каталитической активности?

4. Что общего и в чем различия между статическими и проточными методами, интегральными и дифференциальными, приближенными и точными. Как экспериментально проверяется реализация данных методов в существующей установке?
5. В каких из рассмотренных методов каталитических экспериментов (интегральный и дифференциальный, точный и приближенный) осуществляется «реактор идеального вытеснения», а в каких «реактор полного смешения»? Ответ пояснить.
6. Сравнение катализаторов с различным средним размером частиц нанесенного активного компонента при помощи интегрального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.
7. Сравнение катализаторов с различным средним размером частиц нанесенного активного компонента при помощи приближенного и точного дифференциального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки условий реализации безградиентного режима на установке при реализации приближенного и точного дифференциального метода.
8. Сравнение катализаторов с различной площадью активной поверхности при помощи интегрального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.

#### **Примерные типы задач, решаемых на дифференцированном зачете:**

1. Вывести уравнение зависимости  $X$  от массы катализатора ( $m$ ) при проведении эксперимента в проточном реакторе (при  $u = \text{const}$ ) для реакции  $A \rightarrow B$  (или другой).
2. Показать связь температуры достижения заданной глубины превращения с количеством катализатора на примере уравнения зависимости  $T_x$  от  $m$  для реакции  $A \rightarrow B$  (или другой).
3. Для изучения размерного эффекта вам необходимо при помощи проточного трубчатого реактора испытать два образца – с мелкими ( $d$ ) и крупными частицами. Опишите порядок ваших действий. Поясните выбор критерия активности и способа его определения.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.





**Аннотация**  
**к рабочей программе дисциплины «Современная техника каталитического эксперимента»**

направление подготовки: 04.06.01 Химические науки  
направленность (профиль): Кинетика и катализ

Форма обучения: очная

### 1. Цель изучения дисциплины

Дисциплина «Современная техника каталитического эксперимента» предназначена для ознакомления аспирантов с современными методами и экспериментальной техникой определений активности гетерогенных катализаторов.

Указанный курс является оригинальным развитием представлений о каталитической активности и методах ее измерения, которые даются аспирантам в курсе «Основы современного катализа». Принципиально новым является акцентирование внимания аспирантов на высокоточных экспериментальных методах определений каталитической активности и, прежде всего, на проточно-циркуляционном методе.

Основной целью освоения дисциплины является развитие у аспирантов устойчивых навыков высокоточных экспериментальных исследований каталитических свойств гетерогенных катализаторов.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи курса:

- ознакомление с понятием «каталитическая активность»,
- ознакомление с методами определений каталитической активности,
- ознакомление с экспериментальной техникой для определений каталитической активности,
- ознакомление с оптимальными алгоритмами решения типовых кинетических задач,
- проведение серии экспериментальных кинетических исследований на специализированной учебной каталитической установке на примере модельного одномаршрутного стационарного каталитического процесса полного окисления метана молекулярным кислородом воздуха с использованием специального катализатора.

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина *Современная техника каталитического эксперимента* входит в часть образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.М1.ДВ.2), и изучается в 6 семестре.

Дисциплина «Современная техника каталитического эксперимента» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 04.06.01 – Химические науки направленность Кинетика и катализ по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Современная техника каталитического эксперимента» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по направленности «Кинетика и катализ».

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Индикатор компетенции	Результаты обучения по дисциплине
-----------------------	-----------------------------------



<b>УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.2	Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные преимущества и недостатки реализации этих вариантов
<b>УК-2 Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки</b>	
УК-2.3	Анализировать основные методологические проблемы своей профессиональной области в историческом контексте и на современном этапе
<b>УК-5</b>	<b>Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>
УК-5.1 Владеть приемами выявления и осознания своих возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования	
УК-5.2 Выявлять и формулировать проблемы собственного развития, исходя из этапов профессионального роста и тенденций развития области профессиональной деятельности	
<b>ПК-2 Готовность к поиску и разработке новых, а также к усовершенствованию существующих катализаторов и каталитических процессов для проведения новых химических реакций, а также ускорения известных реакций и повышения их селективности</b>	
ПК-2.1 Знать основные типы физико-химических процессов, протекающих на различных этапах синтеза носителей и катализаторов; знать, какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе их синтеза или эксплуатации и способы повышения стабильности катализаторов к действию этих негативных факторов	

#### 4. Трудоемкость дисциплины, вид учебной деятельности и форма промежуточной аттестации

Трудоемкость дисциплины – 3 з.е. (108 ч)

Форма промежуточной аттестации: 6 семестр – дифференцированный зачет

№	Вид деятельности	Семестр
		6
1	Лекции, ч	12
2	Практические занятия, ч	12
3	Лабораторные занятия, ч	18
4	Занятия в контактной форме, ч	44

	из них	
5	из них аудиторных занятий, ч	42
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	-
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	64
10	Всего, ч	108

#### **5. Содержание дисциплины**

- Раздел 1. Каталитическая активность
- Раздел 2. Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории
- Раздел 3. Методики определения каталитической активности

**Фонд оценочных средств  
промежуточной аттестации  
по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента»**

направление подготовки: 04.06.01 Химические науки  
направленность (профиль): Кинетика и катализ

Форма обучения: очная

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы и с указанием используемых оценочных средств**

Индикатор компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		
<b>УК-1.2.</b> Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные преимущества и недостатки реализации этих вариантов	<ul style="list-style-type: none"> <li>– имеет представление об исследовательских и практических задачах, возникающих при проведении каталитических экспериментов;</li> <li>– знает суть методов измерения каталитической активности образцов, их преимущества и недостатки, аргументированно выбирает метод измерения каталитической активности;</li> <li>– измеряет скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства;</li> <li>– умеет анализировать альтернативные варианты решения задач, возникающих при проведении каталитических экспериментов;</li> </ul>	Дифференцированный зачет
<b>УК-2. Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки</b>		
<b>УК-2.3.</b> Анализировать основные методологические проблемы своей профессиональной области в историческом контексте и на современном этапе	<ul style="list-style-type: none"> <li>– имеет представление о роли современной техники каталитического эксперимента в комплексе задач и проблем катализа;</li> <li>– умеет анализировать литературные и экспериментальные данные по зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов, так и от параметров процессов;</li> </ul>	Дифференцированный зачет
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		
<b>УК-5.1.</b> Владеть приемами выявления и осознания своих возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования		Дифференцированный зачет

<p><b>УК-5.2.</b> Выявлять и формулировать проблемы собственного развития, исходя из этапов профессионального роста и тенденций развития области профессиональной деятельности</p>		<p>Дифференцированный зачет</p>
<p><b>ПК-2. Готовность к поиску и разработке новых, а также к усовершенствованию существующих катализаторов и каталитических процессов для проведения новых химических реакций, а также ускорения известных реакций и повышения их селективности</b></p>		
<p><b>ПК-2.1.</b> Знать основные типы физико-химических процессов, протекающих на различных этапах синтеза носителей и катализаторов; знать, какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе их синтеза или эксплуатации и способы повышения стабильности катализаторов к действию этих негативных факторов</p>	<p>– знает, какие типы физико-химических процессов протекают на различных этапах синтеза носителей и катализаторов в рамках тех или иных методов приготовления,  - знает, какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе их синтеза или эксплуатации;  - правильно получает и интерпретирует зависимости каталитических свойств как от параметров катализаторов (способ приготовления, химический состав, текстура, форма и размер зерен (блоков) и др.), так и от параметров процессов (давления, температуры реакции, состава контактной реакционной смеси, диффузионных явлений и др.)  - предлагает способы повышения стабильности катализаторов к действию негативных факторов, снижающих активность и ухудшающих физико-химические характеристики катализаторов</p>	<p>Дифференцированный зачет</p>

**2. Критерии и шкала оценивания результатов обучения по дисциплине «Современная техника каталитического эксперимента»**

Дифференцированный зачет проходит в устной форме по билетам. В каждый билет включены два теоретических вопроса и одна практическая задача.

<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>	<b>Шкала оценивания</b>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует глубокие знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает методы измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– умеет измерять скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства,</li> <li>– правильно получает и интерпретирует зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– не допускает грубых ошибок при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Отлично</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает основные методы измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– умеет измерять скорость каталитических реакций и определяет каталитические свойства,</li> <li>– допускает неточности при получении и интерпретации зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– допускает несущественные неточности при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Хорошо</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрирует общие знания основных определений, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– знает несколько наиболее часто используемых методов измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– допускает ошибки при измерении скорости каталитических реакций и определении каталитических свойств,</li> <li>– допускает затруднения при получении и интерпретации зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса,</li> <li>– не допускает грубых ошибок при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Удовлетворительно</i>
<p style="text-align: center;"><b><u>Дифференцированный зачет</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Имеет представление об основных определениях, используемых в курсе современной техники каталитического эксперимента,</li> <li>– демонстрирует неполное знание или допускает грубые ошибки при изложении сути методов измерения каталитической активности образцов,</li> <li>– испытывает существенные трудности при измерении скорости каталитических реакций и определении каталитических свойств,</li> <li>– не способен правильно получать и интерпретировать зависимости каталитических свойств от параметров катализатора и процесса</li> <li>– допускает грубые ошибки при численном расчете скорости реакции или других величин</li> </ul>	<i>Неудовлетворительно</i>

### **3. Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

#### **Примеры типовых заданий контрольных работ**

Тема проверочной работы	Типовое задание
«По знаниям студентов по катализу»	Привести определение каталитической активности
«Каталитическая активность»	Рассмотреть возможность использования степени превращения как меры каталитической активности
«По знаниям студентов по материалу первой лекции»	Почему характер зависимости глубины превращения от количественной характеристики катализатора выглядит как кривая с насыщением?
«Способы проведения кинетических экспериментов в лаборатории»	В чем особенности приближенных и точных интегральных методов проведения кинетических экспериментов в лабораторных условиях? Каковы их основные преимущества и недостатки?
«По знаниям студентов по материалу второй лекции»	Как с помощью точных интегральных и дифференциальных методов определить стационарную скорость каталитической реакции при заданном составе контактной реакционной смеси, то есть каталитическую активность?
Итоговая контрольная работа	Для изучения размерного эффекта вам необходимо при помощи проточного трубчатого реактора испытать два образца – с мелкими (d) и крупными частицами. Опишите порядок ваших действий. Поясните выбор критерия активности и способа его определения. Рассмотрите способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.

### Примерные теоретические вопросы к дифференцированному зачету:

9. Привести определение каталитической активности.
10. Рассмотреть возможность использования степени превращения как меры каталитических свойств в случаях реализации экспериментов в одинаковых и различных экспериментальных условиях (навеска, время контакта, количество активного компонента). Пояснить по каким причинам данная величина может быть или не может быть мерой каталитической активности?
11. Рассмотреть возможность использования температуры достижения заданной глубины превращения как меры каталитической активности. Пояснить по каким причинам данная величина может быть или не может быть мерой каталитической активности?
12. Что общего и в чем различия между статическими и проточными методами, интегральными и дифференциальными, приближенными и точными. Как экспериментально проверяется реализация данных методов в существующей установке?

13. В каких из рассмотренных методов каталитических экспериментов (интегральный и дифференциальный, точный и приближенный) осуществляется «реактор идеального вытеснения», а в каких «реактор полного смешения»? Ответ пояснить.
14. Сравнение катализаторов с различным средним размером частиц нанесенного активного компонента при помощи интегрального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.
15. Сравнение катализаторов с различным средним размером частиц нанесенного активного компонента при помощи приближенного и точного дифференциального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки условий реализации безградиентного режима на установке при реализации приближенного и точного дифференциального метода.
16. Сравнение катализаторов с различной площадью активной поверхности при помощи интегрального метода (пояснить выбор критерия активности и способа его определения). Рассмотреть способ экспериментальной проверки используемого интегрального метода определения активности на заданной установке.

**Примерные типы задач, решаемых на дифференцированном зачете:**

4. Вывести уравнение зависимости  $X$  от массы катализатора ( $m$ ) при проведении эксперимента в проточном реакторе (при  $u = \text{const}$ ) для реакции  $A \rightarrow B$  (или другой).
5. Показать связь температуры достижения заданной глубины превращения с количеством катализатора на примере уравнения зависимости  $T_X$  от  $m$  для реакции  $A \rightarrow B$  (или другой).
6. Для изучения размерного эффекта вам необходимо при помощи проточного трубчатого реактора испытать два образца – с мелкими ( $d$ ) и крупными частицами. Опишите порядок ваших действий. Поясните выбор критерия активности и способа его определения.