

Программа утверждена на заседании
Ученого Совета химического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
Протокол № 11 от 19 декабря 2017 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. **Рабочая программа дисциплины (модуля):** Макрокинетические методы исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона (Macrokinetic methods of heterogeneous cement-containing oxide catalysts investigation in case of ozone decomposition reaction)

Краткая аннотация: Спецкурс предлагается для обучения аспирантов Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В рамках дисциплины аспиранты, использующие в своих научных исследованиях цементсодержащие оксидные катализаторы, должны получить углубленное представление о макрокинетике разложения озона в проточном реакторе с гранулами катализатора; в цилиндрической трубке, внутренние стенки которой покрыты каталитическими композициями (метод трубок); кинетике и механизме разложения озона на катализаторе, нанесенном на бусиновый терморезистор; импульсном микрокаталитическом методе исследования окисления монооксида углерода и метана на катализаторах гоупалюмах, в том числе с использованием озона.

2. Уровень высшего образования — подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки, **направленность:** «02.00.04-физическая химия» и «02.00.15-кинетика и катализ»

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, Блок 1 «Дисциплины (модули)». 5 семестр (3 год) обучения аспиранта

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
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	З1(УК-1) Знать: современные критерии и методы оценки научных достижений У1(УК-1) Уметь: квалифицированно ставить и решать научные задачи, в том числе в междисциплинарных областях В1(УК-1) Владеть: навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
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	З1(УК-2) Знать: современные методы и подходы в области комплексного физико-химического исследования В1(УК-2) Владеть: навыками планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований
ОПК-1: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В2 (ОПК-1) Владеть навыками анализа получаемых результатов и формулировки выводов У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (для определения свойств гетерогенных катализаторов с помощью макрокинетических методов исследования)

<p>ПК-4: способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.04 Физическая химия</p>	<p>31 (ПК-4) Знать современное состояние науки в области физической химии 32 (ПК-4) Знать современное состояние науки в области физической химии гетерогенного катализа 33 (ПК-4) Знать место и роль в гетерогенном катализе макрокинетических методов (например, метод проточного реактора; метод трубок; калориметрические методы; импульсный микрокаталитический метод). У1 (ПК-4) Уметь применять основные современные физико-химические методы исследования, в том числе макрокинетические, для обсуждения свойств и характеристик цементсодержащих оксидных гетерогенных катализаторов. В8 (ПК-4) Владеть: навыками обобщения и анализа результатов физико-химических и каталитических исследований В9 (ПК-4) Владеть: целостной системой знаний о гетерогенном катализе и механизмах, лежащих в основе промышленного разложения озона</p>
<p>ПК-13: способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.15 Кинетика и катализ</p>	<p>31(ПК-13) Знать: область применения и ограничения применимости макрокинетических методов при определении свойств гетерогенных катализаторов У3(ПК-13) Уметь: критически анализировать и обрабатывать экспериментальные результаты макрокинетических аналитических испытаний цементсодержащих гетерогенных катализаторов разложения озона.</p>

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся: объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 44 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и 4 часа - промежуточной аттестации), 64 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:

В специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Математический анализ», «Физика», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия».

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе									
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости. промежуточной ат-	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Введение. Возможности макрокинетических методов по определению каталитических и кинетических параметров и закономерностей гетерогенного разложения озона	2	2					2				

Раздел 1. ГЕТЕРОГЕННО - КАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОЗОНА. ПРОТОЧНЫЙ МЕТОД	23	6				1	7	8	8	16
Раздел 2. МАКРОКИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ОЗОНА. "МЕТОД ТРУБОК".	23	12				1	13	10		10
Раздел 3. КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОЗОНА. КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД	19	8				1	9	10		10
Раздел 4. ОКИСЛЕНИЕ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА И МЕТАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ ГОПТАЛЮМАХ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА	17	6				1	7	10		10
Заключение. Выводы и рекомендации по созданию катализаторов разложения озона и их промышленной эксплуатации	2	2					2			
Промежуточная аттестация: зачет	22					4	4	18		18
Итого	108	36	0	0	0	8	44	56	8	64

Раздел 1.

Тема 1 Методы определения активности катализаторов

Тема 2 Разложение озона на гетерогенных поверхностях

Тема 3 Механизм каталитического разложения озона

Тема 4 Методика эксперимента

Тема 5 Каталитический распад озона на поверхности талюма. Время жизни и порядок реакции

Тема 6 Кинетика разложения озона на цементсодержащих катализаторах

Раздел 2.

Тема 1 Гибель активных частиц на стенках цилиндрической трубы

Тема 2 Методика эксперимента . Экспериментальная установка

Тема 3 Кинетика гетерогенного разложения озона в трубках

Тема 4 Кинетика гибели озона на талюме и однокомпонентных катализаторах
Тема 5 Кинетика гетерогенного разложения озона на многокомпонентных цементсодержащих каталитических системах
Тема 6 Сравнение решений диффузионно-кинетического уравнения с решениями уравнения Франк-Каменецкого
Тема 7 Моделирование кинетики разложения озона в отдельной ячейке блочного катализатора

Раздел 3.

Тема 1 Калориметрический метод исследования каталитических процессов
Тема 2 Методика исследования .Экспериментальная установка
Тема 3 Тепловые процессы при гетерогенном разложении озона
Тема 4 Определение активности катализаторов калориметрическим методом
Тема 5 Кинетическая схема гетерогенного распада озона
Тема 6 О лимитирующей стадии при каталитическом распаде озона
Тема 7 Определение времени жизни озона на поверхности оксидных катализаторов и талюма
Тема 8 Механизм разложения озона на каталитическом терморезисторном датчике

Раздел 4.

Тема 1 Методика .Экспериментальная установка
Тема 2. Каталитическое окисление монооксида углерода и озон
Тема 3 Гетерогенное окисление метана и озон

8. Образовательные технологии: традиционные лекции, интерактивные лекции, в т.ч. с демонстрационным разбором результатов физико-химических исследований. Преподавание курса проводится в форме лекционных занятий с использованием мультимедийных презентаций. Занятия проводятся с привлечением результатов исследований, полученных непосредственно авторами программы. Примеры, демонстрации и задания составлены на основе реальных экспериментальных данных, полученными авторами, и способствуют глубокому усвоению и восприятию материала курса слушателями.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень домашних заданий для самостоятельной работы. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет ресурсов.

10. Ресурсное обеспечение: перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература:

- 1) Гомогенная и гетерогенная деструкция озона. Ткаченко С. Н. // ООО «МАКС Пресс» Москва, ISBN 978-5-317-05465-6, 2016, 520 с.
- 2) Гетерогенный катализ. Часть 1. Кинетика. Ткаченко С.Н. Книжный дом университет. Химический факультет МГУ Москва, ISBN 5-88711-229-8, 2006, 107 с.
- 3) Физическая химия озона. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Москва, ISBN 5-211-03719-7, 1998, 478 с.
- 4) Практикум по физической химии // Бенько Е.М., Голубина Е.В., Горленко Л.Е.,...Ткаченко С.Н., Ткаченко И.С. ... с соавт. // Книжный дом университет Москва, ISBN 978-5-91304-727-4, 2017, 244 с.
- 5) Теория и практика получения и применения озона. // Лунин В.В., Самойлович В.Г., Ткаченко С.Н., Ткаченко И.С. // Издательство Московского университета Москва, ISBN 978-5-19-011046-3, 2016, 432 с.
- 6) **Интернет-ресурсы:** База данных Национального института стандартов и технологий NIST (<http://www.nist.gov>)

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

Профессор, доктор химических наук Ткаченко Сергей Николаевич, 89161505396, timis@timis.ru
С.н.с., к.ф.-м.н. Ткаченко Илья Сергеевич, 89161963264, tcorporation79@mail.ru

13. Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения:

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1.
2. Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации — зачета.
Образцы контрольных вопросов для текущего контроля усвоения материала (зачета):

Вопросы и задачи (для решения в качестве домашних заданий):

1. Указать порядок реакции и рассчитать константу скорости и количество катализатора для реакции разложения озона на катализаторе гопталюм.
2. Определить энергию активации в реакции разложения озона на гетерогенном катализаторе гопталюм.
3. На основе изученных физико-химических методов исследования гетерогенных цементсодержащих катализаторов предложите оптимизацию при синтезе смешанного цементсодержащего катализатора для разложения озона. Какими макрокинетическими методами можно контролировать приготовление и характеристики синтезируемого катализатора?
4. Адсорбция озона, тепловая десорбция озона на цементсодержащих оксидных катализаторах. Объяснить вид изотерм адсорбции/десорбции озона на катализаторе гопталюм.
5. Объяснить роль и возможности калориметрических измерений с помощью измерителей, использующих свойства каталитических реакций.
6. Объяснить механизм разложения озона на катализаторе, нанесенном на бусинковый терморезистор.
7. Объяснить импульсный микрокаталитический, хроматографический метод для исследования окисления летучих органических веществ на цементсодержащих катализаторах гопталюм, в том числе с использованием озона.

Вопросы для подготовки:

1. Цементсодержащие оксидные катализаторы деструкции озона на основе оксидов переходных металлов. Гопталюмовые катализаторы и деструкция озона.
2. Роль и возможности макрокинетических методов исследования цементсодержащих катализаторов.
3. Активность цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона .
4. Теория и практика, позволяющая предсказать каталитическую активность цементсодержащего катализатора в реакции разложения озона.
5. Метод проточного реактора в реакции разложения озона на гетерогенном цементсодержащем катализаторе.
6. Метод макрокинетического разложения озона в цилиндрических трубках, внутренние стенки которого покрыты каталитическими композициями, например, цементсодержащими оксидными катализаторами.
7. Роль и возможности калориметрических измерений с помощью приборов, использующих свойства каталитических реакций.
8. Механизм разложения озона на катализаторе, нанесенном на бусинковый терморезистор.
9. Влияние оксидов металлов на их каталитическую активность

10. Промышленное применение катализаторов гоптальюмов.
11. Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения.
12. Влияние носителя на способ приготовления и активность катализа разложения озона.
13. Размер пор и изотермы адсорбции/десорбции. Влияние диаметра пор на разложение озона.
14. Фактор Тиле и разложение озона на катализаторе.
15. Как проявляется различная пористая структура на виде изотермы адсорбции/десорбции? Распределения пор по размерам.
16. Вид кривой и формула для описания адсорбции/десорбции озона на цементсодержащем катализаторе гоптальюм.
17. Импульсный микрокаталитический, хроматографический метод для исследования окисления монооксида углерода на цементсодержащих катализаторах гоптальюм, в том числе с использованием озона.
18. Импульсный микрокаталитический, хроматографический метод для исследования окисления метана на цементсодержащих катализаторах, в том числе с использованием озона.
20. Уравнение Хэбгуда-Бассета.
21. Применение макрокинетических методов исследования для оптимизации методик приготовления гетерогенных катализаторов и определения параметров получаемых систем

Пример контрольного задания для зачета

Рассчитать необходимое количество катализатора разложения озона гоптальюм для следующих условий: расход озono-воздушной смеси - $75 \text{ м}^3/\text{час}$; рабочее давление – атмосферное; температура ОВС на входе - $5...45 \text{ }^\circ\text{C}$; концентрация озона в ОВС на входе - $15 \text{ г}/\text{м}^3$; степень разложения озона - $99,5 \pm 0,5\%$. Какие физико-химические исследования необходимо сделать для верификации Ваших расчетов? Что Вы ожидаете получить по итогам работы?

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет происходит в форме индивидуального собеседования и лекций по перечисленным в списке вопросам. На зачете производят проверку наличия систематических представлений о принципиальных основах, объектах, возможностях, преимуществах и недостатках синтеза цементсодержащих оксидных катализаторов и связанных с ними физико-химическими методами исследования. Достижение результатов обучения проверяют по ответам минимум на два вопроса (основные вопросы). В зависимости от ответов на основные вопросы аспиранту могут быть предложены и дополнительные вопросы, которые могут включать в себя и расчетные задачи. Уровень знаний аспиранта оценивается на «зачтено», «не зачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если по шкале оценивания учащийся демонстрирует знания, умения и владения, соответствующие категориям 3, 4 и 5. Для подготовки выступления не-

обходимо проанализировать предложенные экспериментальные данные и предложить схему дальнейшего исследования для объяснения экспериментальных зависимостей. «Зачет» выставляется в случае успешного выступления, удовлетворительных ответов на вопросы.

Протокол приема зачета подписывается преподавателем, принимающим зачет.

Приложение 1 .

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Макрокинетические методы исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона» на основе карт компетенций выпускников:

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ) И ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ				ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ	
	1	2		1		
У1 (УК-1) Уметь критически оценивать литературные результаты	Отсутствие умений	Умение критически оценивать литературные сведения в отдельных случаях	У1 (УК-1) Уметь критически оценивать литературные результаты	Отсутствие умений	Умение критически оценивать литературные сведения в отдельных случаях	У1 (УК-1) Уметь критически оценивать литературные результаты
З1 (УК-2) Знать современные критерии и методы научной исследовательской деятельности и оценки результатов такого рода работы	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о макрокинетических экспериментальных методах исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	З1 (УК-2) Знать методы научной исследовательской деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о макрокинетических экспериментальных методах исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	З1 (УК-2) Знать методы научной исследовательской деятельности
У1 (УК-1) Уметь квалифицированно ставить и решать научные задачи, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие умений	Частично усвоенное умение ставить и решать научные задачи в области исследования макрокинетических свойств гетерогенных	Несистематические и шаблонные умения ставить и решать научные задачи в области исследования макрокинетических свойств гетерогенных	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы умения ставить и решать научные задачи в области	Сформированное умение квалифицированно ставить и решать научные задачи в области исследования макрокинетиче-	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания

		катализаторов	катализаторов	исследований макрокинетических свойств гетерогенных катализаторов	ских свойств гетерогенных катализаторов	
В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие владения	Неполное владение отдельными приемами макрокинетических методов исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие владения	Неполное владение отдельными приемами макрокинетических методов исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
31 (УК-2) Знать: современные методы и подходы в области комплексного физико-химического макрокинетического исследования	Отсутствии знаний	Фрагментарные знания принципов работы физико-химических макрокинетических методов исследования гетерогенных катализаторов	Неполные и несистематические знания основ физико-химических макрокинетических методов, применяемых для исследований гетерогенных катализаторов	Сформированные, но содержащие отдельные неточности, знания научных основ и принципов работы физико-химических макрокинетических методов,	Сформированные систематические знания научных основ и принципов работы физико-химических макрокинетических методов, применяемых для исследований гетерогенных катализаторов, а	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания

				применяемых для исследований гетерогенных катализаторов	также областей их применимости	
В1 (УК-2) Владеть технологиями планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований	Отсутствие владения	Владение планированием отдельных этапов отдельных методов исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	В2 (УК-2) Владеть технологиями планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований	Отсутствие владения	Владение планированием отдельных этапов отдельных экспериментальных методов исследования цементсодержащих оксидных катализаторов	В2 (УК-2) Владеть технологиями планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований
У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования катализаторов для разложения озона	Отсутствие умений	Частично освоенное умение обоснованно выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования катализаторов для разложения озона	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования катализаторов для разложения озона	Отсутствие умений	Частично освоенное умение обоснованно выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования катализаторов для разложения озона	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования катализаторов для разложения озона
У16 (ПК-4) Уметь применять основные законы физической	Отсутствии умений	Имея базовые представления об основных законах	Способен применять основные законы	Умеет применять основные зако-	Раскрывает полное содержание	Зачет в форме выступления по теме

химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем для разложения озона		физической химии, не умеет применять их для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем для разложения озона	физической химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем для разложения озона	ны физической химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем для разложения озона	основных законов физической химии для обсуждения свойств и характеристик гетерогенно-каталитических систем для разложения озона	контрольного задания
31 (ПК-4) Знать основные макрокинетические методы исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, CO; Метод трубок; кинетику и механизме разложения озона на катализаторе, нанесенном на бусинковый терморезистор; импульсный микрокаталитический метод исследования окисления монооксида углерода и метана на катализаторах гоп-	<i>Отсутствие знаний</i>	<i>Фрагментарные представления о макрокинетических методах исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона.</i>	<i>Ограниченные и неполные знания и представления о макрокинетических методах исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона.</i>	<i>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания и представления о макрокинетических методах исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона.</i>	<i>Полностью сформированные и системные знания представления о макрокинетических методах исследования гетерогенных цементсодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона.</i>	<i>Основной вопрос в ходе зачета</i>

талюмах, в том числе с использованием озона.						
У1 (ПК-4) Уметь выбирать наиболее подходящие из основных современные физико-химические методы исследования цементосодержащих оксидных катализаторов цементосодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, СО и интерпретировать полученные данные.	<i>Отсутствие умений</i>	<i>Интуитивный и не всегда верный выбор наиболее подходящих из основных современных физико-химические методы исследования цементосодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, СО</i>	<i>Допускает отдельные ошибки при выборе наиболее подходящих из основных современных физико-химические методы исследования цементосодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, СО</i>	<i>Выбирает наиболее подходящие из основных современных физико-химические методы исследования цементосодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, СО</i>	<i>Умеет обоснованно выбирать наиболее подходящие из основных современных физико-химические методы исследования цементосодержащих оксидных катализаторов в реакции разложения озона, метана, СО полученные данные</i>	<i>Основной вопрос в ходе зачета</i>
В8 (ПК-4) Владеть навыками планирования научного исследования, обобщения и анализа результатов физико-химических и каталитических исследований полученных результатов и формулировки выводов	Отсутствие владения	Фрагментарные навыки поэтапного планирования экспериментальной работы, анализа полученных результатов и формулирования выводов. Допускает существенные ошибки при анализе и	В общих чертах понимает подходы и способы анализа и обобщения результатов физико-химических и каталитических исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в применении навыков анализа и обобщения результатов физико-химических	Способен свободно и аргументированно обсуждать и обобщать результаты физико-химических и макрокинетических	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания

		обобщении результатов физико-химических и макрокинетических каталитических исследований		и макрокинетических каталитических исследований	каталитических исследований	
В9 (ПК-4) Владеть: целостной системой знаний о гетерогенном катализе и механизмах, лежащих в основе промышленного гетерогенно-каталитического разложения озона	Отсутствие навыков	Отсутствие четких представлений о принципах и механизмах, лежащих в основе промышленного гетерогенно-каталитического разложения озона	В общих чертах понимает принципы и механизмы, лежащих в основе промышленного гетерогенно-каталитического разложения озона	Понимает основные современные представления о принципах и механизмах, лежащих в основе промышленного гетерогенно-каталитического разложения озона	Понимает и квалифицированно аргументирует гетерогенный катализ и механизмы, лежащие в основе промышленного гетерогенно-каталитического разложения озона	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания
31 (ПК-13) Знать: область применения и ограничения применимости физико-химических макрокинетических методов при определении свойств гетерогенных катализаторов	Отсутствие знаний	Не имеет четкого представления о применимости и ограничениях применимости физико-химических макрокинетических методов при определении свойств	Знает базовые сведения о применении физико-химических макрокинетических методов при определении свойств гетерогенных катализаторов, но	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об областях применения и ограничениях применимости	Раскрывает полное содержание областей применимости физико-химических макрокинетических методов при определении	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания

		гетерогенных катализаторов	допускает ошибки при объяснении их применимости и ограничениях	физико-химических макрокинетических методов при определении свойств гетерогенных катализаторов	свойств гетерогенных катализаторов и аргументированно объясняет ограничения их применимости	
<i>УЗ (ПК-13) Уметь:</i> критически анализировать и обрабатывать экспериментальные результаты каталитических макрокинетических испытаний гетерогенных катализаторов	Отсутствии умений	Фрагментарные умения обработки и анализа экспериментальные результаты макрокинетических каталитических испытаний гетерогенных катализаторов	Знает теоретические основы моделей, но не умеет правильно выбирать способ обработки и анализа экспериментальные результаты макрокинетических каталитических испытаний гетерогенных катализаторов	Умеет критически анализировать и обрабатывать экспериментальные результаты макрокинетических каталитических испытаний гетерогенных катализаторов, допуская небольшие ошибки при решении нетривиальных задач	применяет умения критически анализировать и обрабатывать экспериментальные результаты макрокинетических каталитических испытаний гетерогенных катализаторов для задач различной сложности	Зачет в форме выступления по теме контрольного задания