

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ Василенко В.Н.

« 25 » мая 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Каталитические процессы в химической технологии

(наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки
18.04.01- Химическая технология
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Направленность подготовки (специализация)
Химическая технология неорганических веществ
(наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация (степень) выпускника

магистр

(Бакалавр/Специалист/Магистр/Исследователь. Преподаватель-исследователь)

Воронеж

1. Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины (модуля) является формирование компетенций обучающегося в области профессиональной деятельности и сфере профессиональной деятельности:

26_Химическое, химико-технологическое производство(в сферах: производства неорганических веществ; производства продуктов основного и тонкого органического синтеза; производство продуктов переработки нефти, газа и твердого топлива; производства полимерных материалов, лаков и красок; производства энергонасыщенных материалов; производства лекарственных препаратов; производства строительных материалов, стекла, стеклокристаллических материалов, функциональной и конструкционной керамики различного назначения; производство химических источников тока; производства защитно-декоративных покрытий; производства элементов электронной аппаратуры и монокристаллов;_производства композиционных материалов и нанокompозитов; нановолокнистых, наноструктурированных и наноматериалов различной химической природы; производства редких и редкоземельных элементов).

В рамках освоения программы магистратуры выпускники могут готовиться к решению задач профессиональной деятельности следующих типов: научно-исследовательский.

2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКВ-1	Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами	ИД1 _{ПКВ-1} –Оценивает эффективность и надежность процессов производства и технологического оборудования ИД2 _{ПКВ-1} – Находит оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД1 _{ПКВ-1} –Оценивает эффективность и надежность процессов производства и технологического оборудования	Знает: принципы каталитического действия в химических процессах производства
	Умеет: анализировать и применять знания при разработке и применении катализаторов и реакторных устройств на новых и действующих промышленных объектах
	Владеет: методами исследований и проведения экспериментальных работ в области химической технологии
ИД2 _{ПКВ-1} – Находит оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.	Знает: основы кинетики и механизма катализа; способы определения потенциальных свойств материалов определенных (конкретных) оксидных и неметаллических систем;
	Умеет: изготавливать новые катализаторы с определенной пористой структурой и сорбционными свойствами, обеспечивающими заданные рабочие характеристики получаемых материалов; рассчитывать эксплуатационные параметры катализаторов
	Владеет: методами проведения стандартных испытаний по определению свойств и параметров катализаторов, методами термического, рентгеноструктурного анализов

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Факультативная дисциплина.

Изучение данной дисциплины проходит на базе знаний, полученных студентами в процессе освоения дисциплин бакалавриата и магистратуры. К дисциплинам магистратуры, которые являются предшествующими и изучение которых необходимо для формирования дальнейших знаний, умений и навыков, относятся «Разработка ресурсосберегающих технологий», «Моделирование в технологических процессах», «Новое технологическое оборудование для производства неорганических веществ».

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы

Виды учебной работы	Всего часов Академ.	2 семестр Академ. час
Общая трудоемкость дисциплины	72	72
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	30,5	30,5
– лекции	8	8
– практические занятия	22	22
Консультации текущие	0,4	0,4
Зачет	0,1	0,1
Вид аттестации зачет	зачет	зачет
Самостоятельная работа: –	41,5	41,5
Проработка материалов по конспекту лекций	3	3
Подготовка по учебникам	4	4
Оформление отчетов по лабораторным работам	5,5	5,5
Домашнее задание (1)	10	10
Подготовка к решению кейс-задания	8	8

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

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, часы
1.	Введение. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы.	Возникновение и развитие катализа. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы. Роль и место каталитического процесса в технологической схеме производства. Важнейшие понятия и термины ка-	10,5

		тализа.	
2.	Общие закономерности и особенности диффузии.	Внешнедиффузионное торможение и разогрев внешней поверхности катализатора. Пути устранения внешней диффузии. Критерии существования внутريدиффузионной области. Внутريدиффузионное торможение и внутренний разогрев катализатора. Способы устранения внутренней диффузии. Фактор эффективности работ зерна катализатора, модуль Тиле.	14
3.	Основы синтеза промышленных катализаторов.	Основы синтеза промышленных катализаторов. Качественные принципы подбора катализаторов. Количественные методы прогнозирования активности и селективности катализаторов. Требования к промышленным катализаторам. Методы получения катализаторов. Характеристика методов пропитки и осаждения-соосаждения. Распределение активного компонента по грануле. Специальные методы приготовления катализаторов. Механическая прочность катализаторов, методы испытания. Геометрия зерна.	18
4.	Реакторные устройства	Основные модели каталитических реакторов. Химические факторы, влияющие на выбор реактора. Типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора. Трубчатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Трубчатые реакторы с внутренним теплообменом. Секционированные реакторы с промежуточным вводом	18

		сырья, с внутренними или выносными теплообменниками. Автотермические реакторы с объёмным или каталитическим зажиганием сырья. Противоточные абсорбционно-каталитические реакторы с движущимся слоем катализатора. Реакторы каталитического крекинга с псевдооживленным слоем. Полифункциональные мембранные реакторы. Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям. Определение устойчивости стационарного режима.	
--	--	---	--

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ПР, час	СРС, час
1.	Введение. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы.	2	4	4,5
2.	Общие закономерности и особенности диффузии.	2	6	6
3.	Основы синтеза промышленных катализаторов.	2	6	10
4.	Реакторные устройства	2	6	10

5.2.1 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость, час
1.	Введение. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы.	Каталитические реакции и катализаторы. Роль и место каталитического процесса в технологической схеме производства.	2
2.	Общие закономерности и особенности диффузии.	Диффузионные процессы в механизме катализа - Поверхностная диффузия. Внешнедиффузионное торможение. - Внутريدиффузионное торможение и внутренний разогрев катализатора. - Фактор эффективности работ зер-	2

		на катализатора, модуль Тиле.	
3.	Основы синтеза промышленных катализаторов.	Качественные и количественные принципы подбора катализаторов. Методы получения катализаторов. Распределение активного компонента по грануле. Специальные методы приготовления катализаторов. Механическая прочность катализаторов, методы испытания. Геометрия зерна. Физико-химические методы испытаний. Методы загрузки катализаторов в реактор, достоинства и недостатки	2
4.	Реакторные устройства	Основные модели каталитических реакторов. Типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора. Трубочатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Трубочатые реакторы с внутренним теплообменом. Секционированные реакторы с промежуточным вводом сырья, с внутренними или выносными теплообменниками. Автотермические реакторы.	2

5.2.2 Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Трудоемкость, час
1	4	1.Изучение важнейших понятий и терминов катализа. Расчет энергий активации реакций. Анализ сырья для синтеза катализаторов .	4
2	6	2.Расчет характеристической скорости реакции и диффузионного потока, модуля Тиле	6
3	6	3. Современные методы синтеза и анализа катализаторов. Золь-гель метод синтеза катализаторов. Термический анализ катализаторов.	6
4	6	4.Расчет каталитических реакторов различных типов	6

5.2.4 Самостоятельная работа студентов (СРС)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРС	Трудоемкость, час
1	Введение. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы.	Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам;	4,5

		Оформление отчетов по лабораторным работам;	
2	Общие закономерности и особенности диффузии.	Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам; Домашнее задание	6
3	Основы синтеза промышленных катализаторов.	Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам;	10
4	Реакторные устройства	Подготовка к решению кейс-задания Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам;	10

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература:

- Ильин, А. П. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов / А. П. Ильин, В. Ю. Прокофьев. — Иваново : ИГХТУ, 2004. — 316 с. — ISBN 5-9616-0049-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4470>
- Учебное пособие «Катализаторы и сорбенты» [Электронный ресурс]: С.И. Нифталиев, Л.В. Лыгина, И.В. Кузнецова; ВГУИТ, Кафедра неорганической химии и химической технологии. - Воронеж: ВГУИТ, 2016. - 53 с.
- Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика [Текст]/ И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 500 с. <http://biblos.vsuet.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/97008>

6.2. Дополнительная литература:

- Кинетика и катализ : журнал / Российская Академия наук. — М. : Наука, 1960-2001. — Издается с 1960 г. — 6 номеров в год. — ISSN 0453-8811. — <URL:<http://www.maik.ru>>.
- Нечипоренко, А. П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твердофазных систем. Индикаторный метод : учебное пособие / А. П. Нечипоренко. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 284 с. — ISBN 978-5-8114-2309-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167340>
- Попова, А. А. Физическая химия : учебное пособие / А. А. Попова, Т. Б. Попова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 496 с. — ISBN 978-5-8114-1796-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168801>
- Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 200 с. —

ISBN 978-5-8114-2158-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169060>

5. Аветисов, А. К. Прикладной катализ : учебник / А. К. Аветисов, Л. Г. Брук ; под редакцией О. Н. Темкина. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-3854-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126902>

6. Нифталиев С. И., Кузнецова И.В., Лыгина Л.В. Катализаторы и сорбенты: методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Катализаторы и сорбенты" направление подготовки бакалавров 18.03.01 - "Химическая технология" <http://biblos.vsu.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/2477>

7. Нифталиев С. И., Кузнецова И.В., Лыгина Л.В. Термический анализ : учебное пособие для лабораторных работ и самостоятельной работы студентов по дисциплинам "Химическая технология неорганических веществ", "Катализаторы и сорбенты", "Каталитические процессы в химической технологии" "Технология перспективных керамических материалов" направлений подготовки бакалавров 18.03.01, магистров 18.04.01. ВГУИТ - Воронеж : ВГУИТ, 2016 <http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/100647>

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

1. Освоение закрепленных за дисциплиной компетенций осуществляется посредством изучения теоретического материала на лекциях, выполнения лабораторных работ. Учебно-методический комплекс модуля дисциплины, размещенный в электронно-образовательной среде ВГУИТ

<http://www.education.vsu.ru/course/view.php?id=619>

2. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Катализаторы и сорбенты» [Электронный ресурс]: С. И. Нифталиев [и др.] ; ВГУИТ, Кафедра неорганической химии и химической технологии. - Воронеж, 2016. - 28 с. - Электрон. ресурс. -

<http://biblos.vsu.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/2477>

Авторы: Нифталиев, С. И., Кузнецова, И. В., Лыгина, Л. В., Горбунова, Е. М.

3. Данылиев, М. М. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплин (модулей) в ФГБОУ ВО ВГУИТ [Электронный ресурс]: методические указания для обучающихся на всех уровнях высшего образования / М. М. Данылиев, Р. Н. Плотникова; ВГУИТ, Учебно-методическое управление. - Воронеж: ВГУИТ, 2016. — 32 с.

Режим доступа в электронной среде: <http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/100813>.

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	https://www.edu.ru/
Научная электронная библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	https://niks.su/
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru/
Электронная библиотека ВГУИТ	http://biblos.vsu.ru/megapro/web
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://minobrnauki.gov.ru/
Портал открытого on-line образования	https://npoed.ru/
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	https://education.vsu.ru/

6.5 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Тестовые задания в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

2. Информационная справочная система. Портал фундаментального химического образования ChemNet. Химическая информационная сеть: Наука, образование, технологии <http://www.chemnet.ru>

3. Информационная справочная система. Сайт о химии. Неорганическая химия. <http://www.xumuk.ru/nekrasov>

Для выполнения домашнего задания и кейс-задания по дисциплине используется программное обеспечение Microsoft Windows XP; Microsoft Windows 2008 R2 Server; Microsoft Office 2007 Professional 07.

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Необходимый для реализации образовательной программы перечень материально-технического обеспечения включает:

- лекционные аудитории (оборудованные видеопроjectionным оборудованием для презентаций; средствами звуковоспроизведения; экраном; имеющие выход в Интернет);
- помещения для проведения семинарских, лабораторных и практических занятий (оборудованные учебной мебелью);
- библиотеку (имеющую рабочие места для студентов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и Интернет);
- компьютерные классы.

Обеспеченность процесса обучения техническими средствами полностью соответствует требованиям ФГОС по направлению подготовки. Материально-техническая база приведена в лицензионных формах и расположена во внутренней сети по адресу <http://education.vsu.ru>.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа

Учебная аудитория №37 для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, промежуточной и итоговой аттестации.	Комплект мебели для учебного процесса на 150 мест Проектор Epson EB-955WH белый Микшерный пульт с USB-интерфейсом Behringer Xenyx X1204USB Активная акустическая система Behringer B112D Eurolive Акустическая стойка Tempo SPS-280 Комплект из 3 микрофонов в кейсе Behringer XM1800S Ultravoice Микрофонная стойка Proel RSM180 15.6" Ноутбук Acer Extensa EX2520G-51P0 черный Веб-камера Logitech ConferenceCam BCC950 (USB) Экран с электроприводом CLASSIC SOLUTION Classic Lyra (16:9) 308x220	Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#61280574 от 06.12.2012 г. http://eopen.microsoft.com Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com AdobeReaderXI(бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html
--	---	---

Для проведения практических, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в распоряжении кафедры имеется:

Учебная аудитория № 020 для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых	Комплект мебели для учебного процесса Экран проекционный Мультимедийный проектор BenQMW 519	Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 7 Rus-
--	---	---

<p>и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.</p>	<p>Ноутбук IntelCore 2–1 шт. Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя.</p>	<p>sian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#47881748 от 24.12.2010г. http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Open License Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com</p> <p>AdobeReaderXI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html</p>
<p>Учебная аудитория № 025 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Печь муфельная ЭКПС 10-1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>
<p>Учебная аудитория № 027 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Шкаф сушильный ШС-80-01-1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>
<p>Учебная аудитория № 029 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Шкаф сушильный тип. 23 151- 1 шт, Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>
<p>Учебная аудитория № 016 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Магнитная мешалка типа ММ-4- 1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>
<p>Учебная аудитория № 022 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Акводистиллятор ДЭ-15-1 шт, Термостат электрический суховоздушный охлаждающий ТСО-1/80-1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>

Аудитория для самостоятельной работы студентов

<p>Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 033.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Кондуктометр DDS-11C (COND-51) – 1 шт., Весы НСВ 123 – 1 шт., Весы ВК-300.1 – 1 шт., Весы аналитические HR-250 AZG Водонепроницаемый стандартный погружной/проникающий зонд тип TD=5 – 2 шт., Компьютер CeleronD 320-1 шт, Высокотемпературный измерительный прибор с памятью данных Testo 735-2 – 1 шт., Иономер И-160МИ 0-14рН(рХ) – 1 шт., Источник питания постоянного тока АКПП Б5.30/10 – 1 шт., Спектрофотометр ПЭ-5300 В– 1 шт., Компьютер IntelCore 2DuoE7300-1 шт., Микроскоп Ievenhuk – 1 шт; Сосуд криобилолгический (Дьюра) X-40-СКП; Прибор рН-метр РНер-4 – 1 шт. Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com</p> <p>AdobeReaderXI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html</p>
<p>Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 39.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Компьютер CeleronD 2.8 -3 шт. Персональный компьютер IntelCore 2 –1 шт. Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com</p> <p>AdobeReaderXI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html</p>
<p>Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 024.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса, Микроколориметр МИД-200-1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя</p>	<p>ПО нет</p>

Дополнительно, самостоятельная работа обучающихся, может осуществляться при использовании:

Читальные залы библиотеки.	Компьютеры со свободным доступом в сеть Интернет и Электронными библиотечными и информационно справочными системами.	<p>Microsoft Office Professional Plus 2010 Microsoft Open License Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #48516271 от 17.05.2011 г. http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Office 2007 Standart, Microsoft Open License Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Windows XP, Microsoft Open License Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com.</p> <p>Adobe Reader XI, (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/odfreader/volume-distribution.html</p>
----------------------------	--	---

Помещение для хранения реактивов, химической посуды и обслуживания лабораторных занятий по органической химии

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования № 031	Ноутбук Lenovo G 575 – 1 шт, Ph-метр PH-150 МИ – 1 шт, Холодильник NORD- 1 шт, Ксерокс Xerox WorkCentre 3119- 1шт.	<p>Microsoft Open License Microsoft Windows XP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com</p> <p>Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com</p> <p>Adobe Reader XI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html</p>
---	---	--

8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Оценочные материалы (ОМ) для дисциплины (модуля) включают в себя:

- перечень компетенций с указанием индикаторов достижения компетенций, этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

ОМ представляются отдельным комплектом и **входят в состав рабочей программы дисциплины (модуля).**

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ «Положение об оценочных материалах».

Программу составил

к.х.н. Кузнецова Ирина Владимировна
(Ф.И.О.)

ПРИЛОЖЕНИЕ
к рабочей программе

1. Организационно-методические данные дисциплины для очно-заочной или заочной форм обучения

1.1 Объемы различных форм учебной работы и виды контроля в соответствии с учебным планом

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет ____ зачетных единиц

Виды учебной работы	Всего академических часов	Распределение трудоемкости по семестрам, ак. ч
		2 семестр
Общая трудоемкость дисциплины (модуля)	72	72
Контактная работа в т. ч. аудиторные занятия:	18,55	18,55
Лекции	9	9
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	-	-
Практические/лабораторные занятия	9	9
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	9	9
Консультации текущие	0,45	0,45
Вид аттестации (зачет)		
Зачет	0,1	0,1
Самостоятельная работа:	53,45	53,45
Домашнее задание	10	10
Проработка материалов по лекциям, презентациям	8	8
Проработка материалов по учебникам	27,45	27,45
Отчет по практическим занятиям	8	8

Аннотация
Каталитические процессы в химической технологии
(наименование дисциплины)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКВ-1	Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами	ИД1 _{ПКВ-1} – Оценивает эффективность и надежность процессов производства и технологического оборудования
			ИД2 _{ПКВ-1} – Находит оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.

В результате освоения дисциплины магистр должен:

Знать: знать принципы каталитического действия для основных классов каталитических реакций;

- основы кинетики и механизма катализа;

- способы определения потенциальных свойств материалов определенных (конкретных) оксидных и неметаллических систем;;

Уметь:

- анализировать и применять знания при разработке и применении катализаторов и реакторных устройств на новых и действующих промышленных объектах;

- изготавливать новые катализаторы с определенной пористой структурой и сорбционными свойствами, обеспечивающими заданные рабочие характеристики получаемых материалов; рассчитывать эксплуатационные параметры катализаторов.

Владеть:

- навыками безопасной работы с химическими системами;

- методами проведения стандартных испытаний по определению свойств и параметров катализаторов, методами термического, рентгеноструктурного анализов.

Содержание разделов дисциплины:

Возникновение и развитие катализа. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы. Роль и место каталитического процесса в технологической схеме производства. Важнейшие понятия и термины катализа. Внешнедиффузионное торможение и разогрев внешней поверхности катализатора. Пути устранения внешней диффузии. Критерии существования внутридиффузионной области. Внутридиффузионное торможение и внутренний разогрев катализатора. Способы устранения внутренней диффузии. Фактор эффективности работ зерна катализатора, модуль Тиле. Основы синтеза промышленных катализаторов. Качественные принципы подбора катализаторов. Количественные методы прогнозирования активности и селективности катализаторов. Требования к промышленным катализаторам. Методы получения катализаторов. Характеристика методов пропитки и осаждения–соосаждения. Распределение активного компонента по грануле. Специальные методы приготовления катализаторов. Механическая прочность катализаторов, методы испытания. Геометрия зерна. Основные модели каталитических реакторов. Химические факторы, влияющие на выбор реактора. Типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора. Трубочатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Трубочатые реакторы с внутренним

теплообменом. Секционированные реакторы с промежуточным вводом сырья, с внутренними или выносными теплообменниками.

Автотермические реакторы с объёмным или каталитическим зажиганием сырья. Противоточные абсорбционно-каталитические реакторы с движущимся слоем катализатора. Реакторы каталитического крекинга с псевдооживленным слоем. Полифункциональные мембранные реакторы. Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям. Определение устойчивости стационарного режима.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Каталитические процессы в химической технологии

основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Направлению подготовки

18.04.01– Химическая технология

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Профиль подготовки

Химическая технология неорганических веществ

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКв-1	Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами	ИД1 _{ПКв-1} –Оценивает эффективность и надежность процессов производства и технологического оборудования
			ИД2 _{ПКв-1} – Находит оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД1 _{ПКв-1} –Оценивает эффективность и надежность процессов производства и технологического оборудования	Знает: принципы каталитического действия в химических процессах производства
	Умеет: анализировать и применять знания при разработке и применении катализаторов и реакторных устройств на новых и действующих промышленных объектах
	Владеет: методами исследований и проведения экспериментальных работ в области химической технологии
ИД2 _{ПКв-1} – Находит оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.	Знает: основы кинетики и механизма катализа; способы определения потенциальных свойств материалов определенных (конкретных) оксидных и неметаллических систем;
	Умеет: изготавливать новые катализаторы с определенной пористой структурой и сорбционными свойствами, обеспечивающими заданные рабочие характеристики получаемых материалов; рассчитывать эксплуатационные параметры катализаторов
	Владеет: методами проведения стандартных испытаний по определению свойств и параметров катализаторов, методами термического, рентгеноструктурного анализов

2 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Разделы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология/процедура оценивания (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1	Введение. Важнейшие каталитические реакции и катализаторы.	ПКв-1	<i>Отчет по лабораторной работе 1</i>	5-16 17-18	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
2	Общие закономерности и особенности диффузии.	ПКв-1	<i>Отчет по лабораторной работе 2</i>	Опыты 1-4 17-22	Баллы 1-5
			<i>Домашнее задание</i>	1-4	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
3	Основы синтеза промышленных катализаторов.	ПКв-1	<i>Отчет по лабораторной работе 3</i>	Опыты 1-4 19-20	Баллы 1-5
4	Реакторные устройства	ПКв-1	<i>Отчет по лабораторной работе 4</i>	Опыты 1-4	Баллы 1-5

		Кейс-задание	21-22	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
--	--	--------------	-------	---------------------------------------

3 Оценочные средства для промежуточной аттестации. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1 Принятие отчетов по лабораторным работам (текущий контроль)

3.1.1 Шифр и наименование компетенции

В ходе изучения дисциплины Каталитические процессы в химической технологии магистр осваивает следующую компетенцию:

ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами.

Результаты эксперимента представляются в виде отчета, содержащего уравнения реакций, наблюдения, таблицы, графики и выводы. Обсуждение результатов и выводов проводится сначала в малой группе, выполняющей работу, затем с преподавателем.

Индекс компетенции	Формулировка задания	
ПКв-1	1.	Практическая работа №1. Изучение важнейших понятий и терминов катализа. Расчет энергий активации реакций. Анализ сырья для синтеза катализаторов .
ПКв-1	2.	Практическая работа №2. Расчет характеристической скорости реакции и диффузионного потока, модуля Тиле.
ПКв-1	3.	Практическая работа №3. Современные методы синтеза и анализа катализаторов Приготовление катализаторов конверсии монооксида углерода методом соосаждения. Золь-гель метод синтеза катализаторов. Термический и РФА анализ катализаторов.
ПКв-1	4.	Практическая работа №4. Расчет каталитических реакторов различных типов

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, который самостоятельно работал, его отчет содержит правильно составленные уравнения реакций, наблюдения, таблицы, графики и грамотно сформулированные выводы;

- **оценка «хорошо»**, выставляется студенту, который самостоятельно работал, его отчет содержит уравнения реакций с небольшими ошибками, наблюдения, таблицы, графики и грамотно сформулированные выводы;

;- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, который не самостоятельно работал, его отчет содержит уравнения реакций с небольшими ошибками, наблюдения, таблицы, графики и выводы с небольшими ошибками;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не самостоятельно работал, его отчет содержит уравнения реакций с грубыми ошибками, наблюдения, таблицы, графики и выводы не правильны.

3.2 Домашнее задание (текущая аттестация)

3.2.1 Шифр и наименование компетенции

ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами

Номер задания	Задание
1	Энергия активации некоторой реакции без катализатора равна 80 кДж/моль, а с катализатором 60 кДж/моль. Во сколько раз возрастет скорость реакции в присутствии катализатора, если реакция протекает при температуре 30 °С?
2	Рассчитать расходные коэффициенты на производство 1000кг катализатора следующего состава: CuO – 56,4%; Cr ₂ O ₃ – 14,2%; ZnO – 10,5%; Al ₂ O ₃ – 18,9%. Исходными веществами являются следующие соли: Cu(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O, Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O, Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O, Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O. Степень использования исходных веществ: Cu(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O – 98%, Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O – 97%, Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O – 99%, Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O – 95%
3	<p>1. Найти выражение для стационарной скорости протекания гомогенной каталитической реакции $A + B \rightarrow AB$, если ее механизм описывается схемой:</p> $1. A + E \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} X$ $2. X + 2OH^- \xrightarrow{k_2} Y + 2OH^-$ $3. Y + B \rightarrow AB + 2OH^- + E.$ <p>Известно, что равновесия в первой и второй стадиях устанавливаются быстро, и константа основной диссоциации Y равна K_a.</p>
4	Определить изменение степени использования внутренней поверхности пористого катализатора и наблюдаемой скорости превращения при проведении реакции типа S→P на пластинчатом катализаторе с толщиной пластинки 4 мм. Коэффициент диффузии реагента S в катализаторе не зависит от температуры и равен 0,4 см ² /с. Температуру изменили с 733 К до 750 К, а при температуре 680 К константа скорости реакции 0,80 с ⁻¹ . Энергия активации этой реакции составляет 45 кДж/моль. Концентрация реагента S в исходном потоке остается постоянной и равна 0,030 моль/л

Критерии и шкалы оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту правильно выполнившему все задания;
- оценка «хорошо», если студент сделал ошибку в одном задании
- оценка «удовлетворительно», если студент сделал ошибку в двух заданиях
- оценка «неудовлетворительно» если студент сделал ошибку в трех заданиях

3.3 Тесты (тестовые задания)

3.3.1 Шифр и наименование компетенции

ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами

Тест (тестовое задание)

5	<p>Адсорбенты-это вещества</p> <ul style="list-style-type: none"> - поглощающие вещество на своей поверхности - поглощающие вещество всем объемом - образующие с поглощённым веществом твёрдый или жидкий раствор
6	<p>Уравнение Лэнгмюра описывает</p> <ul style="list-style-type: none"> - мономолекулярную адсорбцию - полимолекулярную адсорбцию - теорию объемного заполнения пор
7	<p>Основными параметрами переходных пор активных углей являются</p> <ul style="list-style-type: none"> - величины объема пор, удельной поверхности, функции распределения пор по эквивалентным радиусам - величины объема пор, функции распределения пор по эквивалентным радиусам - величины объема пор, удельной поверхности, функции распределения пор по эквивалентным радиусам, коэффициент афинности.
8	<p>Энергия активации имеет значение более 40 кДж/моль. Это область реагирования:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Кинетическая 2. Внешняя диффузионная 3. Внутренняя диффузионная
9	<p>Текстурный промотор:</p> <ol style="list-style-type: none"> а) снижает агломерацию основного действующего компонента б) уменьшает коксуюемость катализатора в) увеличивает стабильность катализатора
10	<p>Самопроизвольность протекания адсорбции вещества на катализаторе определяется справедливостью соотношения</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ $\Delta G < 0$ ○ $\Delta G > 0$ ○ $\Delta S > 0$ ○ $\Delta G = 0$
11	<p>Рекуперация это</p> <ul style="list-style-type: none"> - улавливание и возвращение в технологический цикл веществ - очистка газов на адсорбенте - устранение постоянной жесткости воды
12	<p>Коэффициент скорости диффузии можно увеличить:</p> <ol style="list-style-type: none"> а) увеличением движущей силы (ΔC реагента) б) уменьшением размера пор в) уменьшением температуры
13	<p>В синтезе аммиака используют катализаторы</p> <ul style="list-style-type: none"> - железосодержащие - благородные металлы - оксиды меди и цинка
14	<p>Каталитические яды блокируют</p> <ul style="list-style-type: none"> - активные центры катализатора - промоторы - образование радикалов
15	<p>При катализе на твердых катализаторах стадия «десорбция продукта катализа» протекает перед</p> <ul style="list-style-type: none"> - диффузией продукта в порах зерна катализатора - диффузией продукта от поверхности зерна - перегруппировкой атомов с образованием комплексов
16	<p>Промотирующие добавки в катализатор делятся на группы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - структурообразующие и модифицирующие - структурообразующие и промотирующие - модифицирующие и активирующие

Критерии и шкалы оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если он ответил на 80-100% вопросов;
- оценка «хорошо», если он ответил на 60-80 % вопросов;
- оценка «удовлетворительно», если он ответил на 40-60 % вопросов;
- оценка «неудовлетворительно», если он ответил на менее 40 % вопросов.

3.4 Кейс-задания

3.4.1 Шифр и наименование компетенции

ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами

Номер задания	Текст задания
17	<p>На производстве часто встает вопрос замены катализатора для увеличения выхода продукта.</p> <p>1. Определите изменение степени использования внутренней поверхности пористого катализатора и наблюдаемой скорости превращения при проведении реакции типа S P, если сферический пористый катализатор диаметром 12 мм заменить пластинчатым катализатором с толщиной пластинки 2 мм. Коэффициент диффузии исходного реагента S в катализаторе равен 0,4 см²/с. Реакцию проводят при температуре 745 К, а константа скорости реакции описывается уравнением:</p> $k = 3,2 \times 10^5 \exp(-8600/T) .$ <p>Концентрация реагента S в исходном потоке остается постоянной и равной 0,025 моль/л.</p> <p>Решение. Определяем константу скорости при температуре 745К:</p> $k = 3,2 \times 10^5 \exp(-8600/745) = 3,1 \text{ с}^{-1} .$ <p>Рассчитываем приведённый радиус для сферического катализатора:</p> $R_{\text{пр}} = \frac{V}{S} = \frac{(4/3)\pi R^3}{4\pi R^2} = \frac{R}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ мм} .$ <p>Находим значение модуля φ:</p> <p>- для сферического катализатора</p> $\varphi = R_{\text{пр}} \times \sqrt{k/D_{\text{эф}}} = 0,2 \times \sqrt{3,1/0,4} = 0,5567 ;$ <p>- для пластинчатого катализатора</p>

$$\varphi = R_{\text{пр}} \times \sqrt{k/D_{\text{эф}}} = 0,1 \times \sqrt{3,1/0,4} = 0,2783 .$$

Рассчитываем изменение степени использования внутренней поверхности катализатора:

$$\frac{\eta_{\text{сф}}}{\eta_{\text{пл}}} = \frac{th\varphi_{\text{сф}}/\varphi_{\text{сф}}}{th\varphi_{\text{пл}}/\varphi_{\text{пл}}} = \frac{0,5055/0,5567}{0,2713/0,2783} = 0,93 .$$

Степень использования внутренней поверхности пластинчатого катализатора больше, чем сферического при заданных размерах.

Определяем наблюдаемую скорость процесса на сферическом катализаторе:

$$w_{\text{н}}(C) = \eta \times k \times C_S = 0,908 \times 3,1 \times 0,025 = 0,0704 \text{ моль/л} \times \text{с} .$$

Определяем наблюдаемую скорость процесса на пластинчатом катализаторе:

$$w_{\text{н}}(C) = \eta \times k \times C_S = 0,9749 \times 3,1 \times 0,025 = 0,0756 \text{ моль/л} \times \text{с} .$$

Таким образом, наблюдаемая скорость процесса на пластинчатом катализаторе выше, чем на сферическом.

18

Одна из целевых реакций каталитического окисления метанола имеет вид: $\text{CH}_3\text{OH} = \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2$. Используется катализатор – медь металлическая (пористая, пластинчатая с толщиной пластинки 6 мм). Коэффициент диффузии реагента CH_3OH в катализаторе не зависит от температуры и равен $0,4 \text{ см}^2/\text{с}$. Температуру изменили с 733 К до 760 К , а при температуре 680 К константа скорости реакции $0,80 \text{ с}^{-1}$. Концентрация реагента в исходном потоке остается постоянной и равна $0,030 \text{ моль/л}$. Энергия активации этой реакции с катализатором 60 кДж/моль , а без катализатора 125 кДж/моль .

- 2.1. Во сколько раз возрастет скорость реакции в присутствии катализатора, если реакция протекает при температуре 760 К ?
- 2.2. Определить изменение степени использования внутренней поверхности пористого катализатора.
- 2.3. Определить изменение наблюдаемой скорости превращения при проведении реакции.
- 2.4. Какой бы вы использовали катализатор в данном процессе?

19

Определите диаметр сетки платино-родиевого катализатора для контактного аппарата, обеспечивающего получение 70 т в сутки азотной кислоты. Степень превращения аммиака в оксид азота NO составляет $0,97$, степень абсорбции $0,99$. Окисление аммиака происходит при давлении 105 Па . Напряженность катализатора 600 кг/м^3 сутки. Содержание аммиака в смеси составляет 11 \% об .

Решение. Определяем расход аммиака для получения требуемого количества азотной кислоты:

$$g_{\text{NH}_3} = \frac{G \times M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HNO}_3} \times \alpha_1 \times \alpha_2} = \frac{70000 \times 17}{63 \times 0,97 \times 0,99} = 19670 \text{ кг/сут},$$

где G – количество получаемой азотной кислоты, кг/сут;

M_{NH_3} и M_{HNO_3} – молекулярные массы аммиака и азотной кислоты соответственно;

α_1 – степень превращения аммиака в оксид азота;

α_2 – степень абсорбции.

Определяем активную поверхность катализаторной сетки исходя из напряжённости катализатора:

$$F_C = \frac{g_{\text{NH}_3}}{Q} = \frac{19670}{600} = 32,8 \text{ м}^2,$$

где Q – напряжённость катализатора.

Принимаем диаметр платино-родиевой проволоки $d = 0,009$ см и число плетений в 1 см² площади сетки $n = 1024$. Определяем активную поверхность 1 м² сетки по формуле:

$$F_a = 2 \times \pi \times d \times \sqrt{n} = 2 \times \pi \times 0,009 \times \sqrt{1024} = 1,81 \text{ м}^2.$$

Определяем площадь и диаметр каждой катализаторной сетки с учётом того, что в контактный аппарат укладываются три сетки:

$$S = \frac{F_C}{F_a} = \frac{32,8}{3 \times 1,81} = 6,0 \text{ м}^2,$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 6,0}{\pi}} = 2,76 \text{ м}.$$

Определяем диаметр сетки с учётом крепления (для крепления принимаем 40 мм):

$$D = 2,76 + 0,04 = 2,8 \text{ м}.$$

20

. В вертикальный кольцевой адсорбер диаметром $D_a = 3$ м со стальной трубой диаметром $d_a = 0,35$ м поступает 170 м³/мин парогазовой смеси, содержащей $C_0 = 0,02$ кг/м³ паров этанола C_2H_5OH . Остаточная концентрация паров этанола в парогазовой смеси $C_{\text{вых}} = 0,0002$ кг/м³. Высота слоя адсорбента $H_a = 1,5$ м. Насыпная плотность АУ $\rho_{\text{нас}} = 500$ кг/м³. Время периода поглощения 4 час 37 мин. Определите количество теплоты, выделяющейся в адсорбере за один период.

Решение:

Площадь сечения адсорбера составляет:

$$S = \frac{\pi D_a^2}{4} - \frac{\pi d_a^2}{4} = (3,14/4) \cdot (9 - 0,1225) = 6,97 \text{ м}^2.$$

За один период через адсорбер проходит парогазовой смеси:

$$V = Q \cdot \tau = 170 \text{ м}^3/\text{мин} \cdot 277 \text{ мин} = 47090 \text{ м}^3.$$

Адсорбируется этилового спирта:

$$m_{\text{сп}} = Q \cdot (C_0 - C_k) \cdot \tau = V \cdot (C_0 - C_k) = 47090 \text{ м}^3 \cdot (0,02 - 0,0002) \text{ кг/м}^3 = 932,4 \text{ кг}.$$

В адсорбер загружается активированного угля:

$$m_a = V \cdot \rho_{\text{нас}} = S \cdot H_a \cdot \rho_{\text{нас}} = 6,97 \cdot 1,5 \cdot 500 = 5227,5 \text{ кг}$$

Теплоту адсорбции можно рассчитать по формуле:

$$q_{\text{уд}} = m \cdot a^n, \text{ где}$$

a – количество адсорбированного пара, л/кг;

m и n – эмпирические константы, зависящие от природы адсорбтива и адсорбента.

Количество (моль) адсорбированного этанола:

$$v_{\text{сп}} = m_{\text{сп}} / M_{\text{сп}} = 932,4 / 46 = 20,27 \text{ кмоль}.$$

	<p>Количество адсорбированных паров (л/кг): $\frac{20,27 \cdot 22,4 \cdot 1000}{5227,5} = 86,86 \text{ л/кг.}$ $a = v_{\text{сп}} \cdot V_M / m_a =$ Для случая адсорбции паров этанола на АУ $m = 3,65 \text{ кДж/кг}$, $n = 0,928$. $q_{\text{уд}} = 3,65 \cdot 86,86^{0,928} = 229,77 \text{ кДж/кг};$ $q = 229,77 \cdot 5227,5 = 1201109,6 \text{ кДж} \approx 1,2 \cdot 10^6 \text{ кДж}$ (выделяется за один период поглощения). Ответ: За один период в адсорбере выделяется $1,2 \cdot 10^6 \text{ кДж}$ теплоты.</p>
21	<p>Определите диаметр адсорбера, количество загружаемого активированного угля и продолжительность периода поглощения 100 кг паров октана при следующих данных: начальная концентрация октана в паровоздушной смеси $C_0 = 0,012 \text{ кг/м}^3$, скорость паровоздушной смеси, считая на полное сечение аппарата $w = 20 \text{ м/мин}$, динамическая адсорбционная емкость АУ по октану $a_d = 7\%$ (масс.), насыпная плотность АУ $\rho_{\text{нас}} = 350 \text{ кг/м}^3$, высота слоя АУ в адсорбере $H_a = 0,8 \text{ м}$.</p> <p>Решение: Массу адсорбента можно рассчитать через массу октана и адсорбционную емкость АУ: $m_a = m_{\text{окт}} / \omega = 100 / 0,07 = 1429 \text{ кг.}$ Объем АУ равен: $V_a = m_a / \rho_{\text{нас}} = 1429 / 350 = 4,08 \text{ м}^3.$ Площадь сечения адсорбера: $S_a = V_a / H_a = 4,08 / 0,8 = 5,1 \text{ м}^2.$ Диаметр адсорбера определяют из площади сечения адсорбера: $S_a = \frac{\pi D_a^2}{4} \Rightarrow D_a = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 2,55 \text{ м.}$ Объемный расход парогазовой смеси равен: $Q = w \cdot S = 20 \text{ м/мин} \cdot 5,1 \text{ м}^2 = 102 \text{ м}^3/\text{мин}.$ Из уравнения материального баланса по улавливаемой примеси определяем период поглощения 100 кг октана: $m_a = \frac{Q \cdot C_0 \cdot \tau}{a_d} \Rightarrow \tau = \frac{m_a \cdot a_d}{Q \cdot C_0} = \frac{1429 \cdot 0,07}{102 \cdot 0,012} = 81,7 \text{ мин} = 1,36 \text{ час.}$ Ответ: Диаметр адсорбера равен 2,55 м. Масса загружаемого адсорбента равна 1429 кг. Продолжительность периода поглощения 1,36 час.</p>
22	<p>Определить изменение степени использования внутренней поверхности пористого катализатора и наблюдаемой скорости превращения при проведении реакции типа $S \rightarrow P$ на пластинчатом катализаторе с толщиной пластинки 6 мм. Коэффициент диффузии реагента S в катализаторе не зависит от температуры и равен $0,6 \text{ см}^2/\text{с}$. Температуру изменили с 733 К до 753 К, а при температуре 683 К константа скорости реакции $0,82 \text{ с}^{-1}$. Энергия активации этой реакции составляет 44800 Дж/моль. Концентрация реагента S в исходном потоке остается постоянной и равна $0,035 \text{ моль/л}$.</p> <p>Решение</p> <ol style="list-style-type: none"> Определяем константу скорости при температуре 733 К после преобразований уравнения Аррениуса: $\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right),$ $\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{44800}{8,31} \cdot \left(\frac{1}{683} - \frac{1}{733} \right) = 0,5384,$ $\ln \frac{k_{733}}{0,82} = 0,5384, \text{ откуда } k_{733} = 1,4 \text{ с}^{-1}$ Находим значение модуля φ (модуль Зельдовича-Тилле): $\varphi = R_0 \cdot \sqrt{\frac{k}{D}} = 0,3 \cdot \sqrt{\frac{1,4}{0,6}} = 0,4582; (R_0 = 0,05 \cdot 6 \text{ мм} = 0,3)$ Рассчитываем значение степени использования внутренней поверхности катализатора при температуре 733 К: $\eta = \frac{\text{th}\varphi}{\varphi}, \text{ где } \text{th}\varphi = \frac{\exp(\varphi) - \exp(-\varphi)}{\exp(\varphi) + \exp(-\varphi)} = \frac{\exp(0,4582) - \exp(-0,4582)}{\exp(0,4582) + \exp(-0,4582)} = \frac{1,5812 - 0,6324}{1,5812 + 0,6324} = 0,4286$

	$\eta = \frac{0,4286}{0,4582} = 0,9354$ <p>4. Определяем наблюдаемую скорость при температуре 733 К: $w_n = \eta \cdot k_{733} \cdot C = 0,9354 \cdot 1,4 \cdot 0,035 = 0,046$ моль/л · с</p> <p>5. Находим константу скорости при температуре 753 К : $\ln \frac{k_{753}}{0,82} = \frac{44800}{8,31} \cdot \left(\frac{1}{683} - \frac{1}{753} \right) = 0,753$</p> <p>откуда $k_{753} = 1,7 \text{ с}^{-1}$</p> <p>6. Находим значение модуля φ (модуль Зельдовича-Тилле): $\varphi = R_0 \cdot \sqrt{\frac{k}{D}} = 0,3 \cdot \sqrt{\frac{1,7}{0,6}} = 0,5059$</p> <p>7. Рассчитываем значение степени использования внутренней поверхности катализатора при температуре 753 К: $\eta = \frac{th\varphi}{\varphi}$, где $th\varphi = \frac{\exp(\varphi) - \exp(-\varphi)}{\exp(\varphi) + \exp(-\varphi)} = \frac{\exp(0,5059) - \exp(-0,5059)}{\exp(0,5059) + \exp(-0,5059)} = 0,4692$ $\eta = \frac{0,4692}{0,5059} = 0,9273$.</p> <p>8. Определяем наблюдаемую скорость при температуре 753 К: $w_n = \eta \cdot k_{753} \cdot C = 0,9273 \cdot 1,7 \cdot 0,035 = 0,059$ моль/л · с</p> <p>Таким образом, при увеличении температуры процесса на 20 градусов степень использования внутренней поверхности уменьшается, наблюдаемая скорость процесса возрастает.</p>
--	---

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «зачтено»** выставляется студенту, если он набрал 51-100 %;
- **оценка «не зачтено»**, выставляется студенту, если он набрал 0-50 %;

Кейс-задача оценивается по уровневой шкале

- **«первый уровень обученности»** - студент не предложил вариантов решения;
- **«второй уровень обученности»** - студент частично разобрался в задании, ответил на последний вопрос, но не предложил вариантов решения;
- **«третий уровень обученности»** - студент разобрался в задании, частично рассчитал характеристики, ответил на последний вопрос;
- **«четвертый уровень обученности»** - студент грамотно разобрался в задании, рассчитал все характеристики, ответил на последний вопрос;
- **оценка «зачтено»** выставляется студенту, если он освоил **второй, третий и четвёртый уровень обученности;**
- **оценка «не зачтено»**, выставляется студенту, если он освоил **первый уровень обученности;**

3.5 Вопросы к зачету

3.5.1 Шифр и наименование компетенции

ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами

Вопросы	
23	Цеолиты, их состав. Модуль. Молекулярно-ситовые свойства.
24	.Цеолитсодержащие катализаторы крекинга углеводородов.
25	Механизм крекинга углеводородов различных классов на алюмосиликатном катализаторе
26	Механизм реакции ароматизации на катализаторах кислотного типа.
27	Химизм образования кокса при каталитическом крекинге.
28	Восстановление отработанных катализаторов
29	Сорбция в каталитических процессах

30	Основные типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора
31	Процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора.
32	Катализаторы риформинга. Состав и назначение отдельных компонентов
33	Влияние степени превращения на соотношение объемов катализатора для псевдооживленного и неподвижного слоев в реакторе.
34	.Преимущества применения псевдооживленного слоя в реакторах по сравнению с неподвижным слоем
35	Современные методы контроля качества катализаторов

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «зачтено»** выставляется студенту, если он имеет допуск к зачету (выполнены все лабораторные работы, домашнее и кейс-задание) правильно ответил на вопрос и выполнил тест,
- **оценка «не зачтено»**, выставляется студенту, если он не правильно ответил на вопрос и ошибся более, чем в 50 % при решении теста.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценки знаний, умений, навыков студентов по дисциплине применяется бально-рейтинговая система оценки студента.

Бально-рейтинговая система оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является текущий опрос в виде отчета по лабораторной работе, выполнение домашнего и кейс-задания, тестов. За отчет по лабораторной работе 1-5 баллов, за каждый правильный ответ теста магистрант получает 1 балл, за домашнее задание 1-5 баллов, за кейс задание – зачтено-30 баллов. Если по рейтингу магистр набрал более 65 баллов, то зачет по дисциплине выставляется автоматически. Магистр, набравший в семестре менее 30 баллов может заработать дополнительные баллы, отработав соответствующие разделы дисциплины или выполнив обязательные задания, для того чтобы быть допущенным до зачета.

Зачет проводится в виде тестового задания (5-41) и вопроса (53-65).

В случае неудовлетворительной сдачи зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии.

5. . Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания для каждого результата обучения по дисциплине

Результаты обучения (на основе обобщённых компетенций)	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценки	Критерии оценки	Шкала оценки	
				Академическая оценка (зачтено/незачтено)	Уровень освоения компетенции
ПКв-1 Способность оценивать эффективность новых технологий получения веществ и материалов и внедрять их в производство, находить оптимальные решения при создании материалов с заданными свойствами					
Знать: принципы каталитического действия для основных классов каталитических реакций; основы кинетики и механизма катализа; способы определения потенциальных свойств материалов определенных (конкретных) оксидных и неметаллических систем;	Тест	Знание основ кинетики и катализа	Магистр знает законы кинетики и катализа. При тестировании и собеседовании набрано более 25 баллов.	Зачтено/ (25 баллов)	Базовый освоен
			Магистр не знает законы кинетики и катализа. При тестировании и собеседовании набрано менее 25 баллов.	Не зачтено/ (менее 25 баллов)	Не освоен
	Отчет по лабораторной работе	На основе знаний основ катализа способен определить и рассчитать потенциальные свойства материала	Лабораторная работа правильно оформлена, сделаны необходимые расчеты	Зачтено/ (3-5 баллов)	Базовый освоен
			Лабораторная работа не правильно оформлена, не сделаны необходимые расчеты	Не зачтено/ (1-2 балла)	Не освоен
Уметь: анализировать и применять знания при разработке и применении катализаторов и реакторных устройств на новых и действующих промышленных объектах; изготавливать новые катализаторы с определенной пористой структурой и сорбционными свойствами, обеспечивающими заданные рабочие характеристики получаемых материалов; рассчитывать эксплу-	Отчет по лабораторной работе	Подобран патент – получение катализаторов. Разработанные катализаторы обладают заданными свойствами и составом.	Магистрант самостоятельно синтезировал катализатор, провел необходимые расчеты, исследовал физико-химические свойства катализатора	Зачтено/ (3-5 баллов)	Продвинутый Освоен
			Магистрант не решил поставленную задачу, не предложил вариантов решения. Разработанный состав не соответствует заданной концепции и/или его производство не имеет технологической возможности	Не зачтено/ (1-2 балла)	Не освоен
	Домашнее задание	Расчеты по механизмам катализа	Магистрант самостоятельно подобрал необходимую литературу, провел расчеты в 5 заданиях	Зачтено/ (3-5 баллов)	Продвинутый Освоен

атационные параметры катализаторов			Магистрант, ошибочно провел расчеты	Не зачтено/ (1-2 балла)	Не освоен
Владеть: навыками безопасной работы с химическими системами; методами проведения стандартных испытаний по определению свойств и параметров катализаторов, методами термического, рентгеноструктурного анализов	Кейс-задача	Обоснована возможность использования каталитического процесса на производстве с учетом различных вариантов технологических решений и реактора	Магистрант разобрался в предложенной конкретной ситуации, самостоятельно решил поставленную задачу на основе знаний функционально-технологических свойств основного и вспомогательного сырья, обосновал технологическую возможность производства. определил место катализатора в технологическом процессе.	Зачтено 30 баллов	Высокий
			Магистрант не решил поставленную задачу, не предложил вариантов решения	Не зачтено (менее 30 баллов)	
	Отчет по лабораторной работе	Исследованы физико-химические свойства катализатора.	Магистрант самостоятельно, исследовал физико-химические свойства катализатора	Зачтено/ (3-5 баллов)	Высокий Освоен
			Магистрант не решил поставленную задачу	Не зачтено/ (1-2 балла)	Не освоен