

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ Василенко В.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

" 25 " мая 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Химическая кинетика гетерогенных процессов**

(наименование дисциплины (модуля))

Специальность
**18.05.02 Химическая технология материалов
современной энергетики**

специализация
**"Технология теплоносителей и радиозкология ядерных
энергетических установок"**

Квалификация выпускника
Инженер

1. Цели 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: химической технологии материалов ядерного топливного цикла; химической технологии разделения и применения изотопов; химической технологии теплоносителей и радиозологии ядерных энергетических установок; радиационной химии и радиационного материаловедения; ядерной и радиационной безопасности на объектах использования ядерной энергии; химической технологии наноматериалов в области ядерной энергетики; химической технологии редких и редкоземельных металлов, химической технологии радиофармпрепаратов)

Дисциплина направлена на решение задач профессиональной деятельности:

научно-исследовательская деятельность - разработка планов, программ и методик проведения исследований материалов и технологических процессов, являющихся объектами профессиональной деятельности; проведение экспериментальных исследований в области технологии материалов современной энергетики; анализ научно-технической литературы и проведение патентного поиска; составление научно-технических отчетов и аналитических обзоров литературы.

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	ОПК-1	Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;	ИД ₂ ОПК-1 – Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД ₂ ОПК-1 – Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	Знает: Основные законы химической кинетики, границы применения кинетических моделей; кинетику топохимических реакций;
	Умеет: выполнить первичную обработку кинетических кривых с целью применимости той или иной кинетической модели;
	Владеет: навыками проведения кинетических исследований с использованием статических, проточных и безградиентных методов

3. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Химическая кинетика гетерогенных процессов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина является предшествующей для *изучения последующих дисциплин, практик:* Химическая технология редких и редкоземельных элементов, Технология теплоносителей ядерных энергетических установок, Ядерные реакторы.

Производственная практика (научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)). Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена; защита выпускной квалификационной работы.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы.

Виды учебной работы	Всего акад. часов	Семестр
		8 академ. час.
Общая трудоемкость дисциплины	180	180
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	73,9	73,9
Лекции	36	36
Лабораторные работы	18	18
Консультации текущие	1,8	1,8
зачет	0,1	0,1
Виды аттестации зачет	зачет	зачет
Самостоятельная работа:	106,1	106,1
Домашнее задание	10ч.лек · 1 ч =10	10
Проработка материалов по лекциям, презентациям	27	27
Проработка материалов по учебникам	59,1	59,1
Отчет по лабораторным работам	10	10

5 Содержание дисциплины, структурированного по 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
1.	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	Общие понятия. Скорость химической реакции. Обратимые и необратимые реакции. Кинетическая классификация. Молекулярность. Порядок реакции. Методы определения порядка реакции.
2.	Кинетика реагирования	Кинетические теории. Кинетика гетерогенных реакций. Поверхность раздела. Модели процессов гетерогенного реагирования. Квазигомогенная модель. Модель с фронтальным перемещением зоны реакций. Стадии реагирования. Способы определения лимитирующей стадии. Кинетические модели топохимических реакций.
3	Процессы сорбции	Адсорбционно-химические стадии гетерогенных реакций. Хемосорбция. Теория сорбции Лэнгмюра и БЭТ. Кинетика реакций твердое-газ. Кинетика реакций газ-жидкость. Статические, проточные и безградиентные методы исследований. Выбор метода кинетических исследований. Методы термического анализа. Изотермическая и неизотермическая кинетика.

		Применение экстракции в радиохимии. Особенности поведения радионуклидов в растворах больших разведений.
--	--	---

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ЛР, час	СРО, час
1.	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	6	6	26
2.	Кинетика реагирования	15	6	40
3.	Процессы сорбции	15	6	40

5.3.1 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость, час
1.	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	Общие понятия. Скорость химической реакции. Обратимые и необратимые реакции. Кинетическая классификация. Молекулярность. Порядок реакции. Методы определения порядка реакции.	3 3
2.	Кинетика реагирования	Кинетические теории. Кинетика гетерогенных реакций. Поверхность раздела. Модели процессов гетерогенного реагирования. Квазигомогенная модель. Модель с фронтальным перемещением зоны реакции. Стадии реагирования. Способы определения лимитирующей стадии. Кинетические модели топохимических реакций.	4 6 2 3
3.	Процессы сорбции	Адсорбционно-химические стадии гетерогенных реакций. Хемосорбция. Теория сорбции Лэнгмюра и БЭТ. Кинетика реакций твердое-газ. Кинетика реакций газ-жидкость. Статические, проточные и безградиентные методы исследований. Выбор метода кинетических исследований. Методы термического анализа. Изотермическая и неизотермическая кинетика. Применение экстракции в радиохимии. Особенности поведения радионуклидов в растворах больших разведений.	4 6 2 3

5.2.2 Лабораторные работы

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика	Трудоемкость, час
1	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	1. Техника работы и техника безопасности. Характеристика методов и их аппаратного оформления. Графический метод определения порядка реакции. Определение энергии активации. 2. Определение константы скорости для реакции мурексида и иона гидроксония 3. Определение средней скорости химической реакции с использованием объемного метода анализа	6
2	Кинетика реагирования	4. Использование термоаналитических методов для изучения процессов, происходящих в твердых фазах при нагревании. 5. Кинетика растворения металлов в кислотах	6
3	Процессы сорбции	6. Сорбция ионов железа различными сорбентами (акт, уголь, силикагель) 7. Экстракция нейтральными органическими веществами: сольватный и гидратно-сольватный механизмы, влияние различных факторов на коэффициент распределения.	6

5.2.3 Самостоятельная работа (СР)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость, час
1	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам;	26
2	Кинетика реагирования	Проработка материалов по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам;	40
3	Процессы сорбции	Домашнее задание Проработка материалов по конспекту лекций; подготовка по учебникам; Оформление отчетов по лабораторным работам;	40

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература:

1. Иртюго, Лилия Александровна. Кинетика гетерогенных процессов: учебное пособие / Л. А. Иртюго, А. А. Шубин ; Сибирский федеральный университет, Институт цветных металлов и материаловедения. - Красноярск : СФУ, 2021 - 132 с.

6.2 Дополнительная литература:

1. Андреев Г.Г., Дьяченко А.Н. Введение в химическую технологию ядерного топлива- Изд-во ТПУ 2010. 165 с.
2. Дьяченко А.Н. Шагалов . В.В. Химическая кинетика гетерогенных процессов Изд-во ТПУ 2014. 96 с.

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

1. 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.

<http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/97008>

6.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной

сети «Интернет», необходимой для освоения дисциплины (модуля)

. Учебно-методический комплекс модуля дисциплины, размещенный в электронно-образовательной среде ВГУИТ <http://www.education.vsu.ru/course/view.php?id=619>

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

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 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Освоение закрепленных за дисциплиной компетенций осуществляется посредством изучения теоретического материала на лекциях, выполнения лабораторных работ. Учебно-методический комплекс дисциплины размещен в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/course/view.php?id=859>.

2. Самостоятельная работа студентов предполагает работу с отечественной литературой, учебниками, конспектами лекций, учебным пособием для выполнения самостоятельной работы по дисциплине «Катализаторы и сорбенты», /С.И. Нифталиев, Л.В. Лыгина, И.В. Кузнецова,

Воронеж: ВГУИТ, 2016 г., размещенные в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/course/view.php?id=859>. Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в виде тестирования.

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. <http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/100813>

6.6 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Используемые виды информационных технологий:

- «электронная»: персональный компьютер и информационно-поисковые (справочно-правовые) системы;
- «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения (ОС Windows; MSOffice; КОМПАС-График; СПС «Консультант плюс»);
- «сетевая»: локальная сеть университета и глобальная сеть Internet.

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

2. Microsoft Windows XP; Microsoft Windows 2008 R2 Server; Microsoft Office 2007 Professional 07.

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

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

5. Отечественные базы данных по химии <http://www.chem.msu.su/rus/library/rusdbs.html>

6. Химия. Базы данных. http://elementy.ru/catalog/t39/Khimiya/g29/bazy_dannykh

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

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

- лекционные аудитории (оборудованные видеопроекторным 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	Комплект мебели для учебного процесса на 150 мест Проектор Epson EB-955WH белый	Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN
---------------------------	--	---

<p>проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, промежуточной и итоговой аттестации.</p>	<p>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</p>	<p>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</p>
---	--	--

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

<p>Учебная аудитория № 020 для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Экран проекционный Мультимедийный проектор BenQ MW 519 Ноутбук Intel Core 2—1 шт. Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя.</p>	<p>Microsoft Open License Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#47881748 от 24.12.2010г. http://eopen.microsoft.com Microsoft Open License 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</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</p>	<p>Комплект мебели для учебного процесса Шкаф сушильный тип. 23 151- 1 шт, Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству</p>	<p>ПО нет</p>

консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	обучающихся. Рабочее место преподавателя	
Учебная аудитория № 016 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Комплект мебели для учебного процесса Магнитная мешалка типа ММ-4- 1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя	ПО нет
Учебная аудитория № 022 для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	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	ПО нет

Аудитория для самостоятельной работы студентов

Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 033.	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 АК ИП 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	Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com AdobeReaderXI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html
Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 39.	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	Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com AdobeReaderXI (бесплатное ПО)

		https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html
Кабинет для самостоятельной работы обучающихся № 024.	Комплект мебели для учебного процесса, Микроколориметр МИД-200-1 шт Плакаты, наглядные пособия, схемы. Рабочие места по количеству обучающихся. Рабочее место преподавателя	ПО нет

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.	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 Microsoft Office 2007 Standart, Microsoft Open License Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com Microsoft Windows XP, Microsoft Open License Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com . AdobeReader XI, (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html
----------------------------	--	---

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

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования № 031	Ноутбук LenovoG 575 – 1 шт, Ph-метр PH-150 МИ – 1 шт, Холодильник NORD- 1 шт, Ксерокс XeroxWorkCentre 3119- 1шт.	Microsoft Open License Microsoft WindowsXP Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 http://eopen.microsoft.com Microsoft Office 2010 Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #47881748 от 24.12.2010 г. http://eopen.microsoft.com AdobeReaderXI (бесплатное ПО) https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html
---	---	--

8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

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».

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Химическая кинетика гетерогенных процессов

1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ОПК-1	Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;	ИД2 _{ОПК-1} – Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД2 _{ОПК-1} – Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	Знает: Основные законы химической кинетики, границы применения кинетических моделей; кинетику топахимических реакций;
	Умеет: выполнить первичную обработку кинетических кривых с целью применимости той или иной кинетической модели;
	Владеет: навыками проведения кинетических исследований с использованием статических, проточных и безградиентных методов

3 Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет). 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

№ п/п	Контролируемые модули/разделы/темы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1.	Введение. Кинетическая классификация химических реакций	ОПК-1	Отчет по лабораторной работе	Вопросы 30-36	Контроль преподавателем
2.	Кинетика реагирования	ОПК-1	Отчет по лабораторной работе	Вопросы 37-39 Вопросы 17-25	Контроль преподавателем
3.	Процессы сорбции	ОПК-1	Домашнее задание	Вопросы к домашнему заданию 26-29	Контроль преподавателем
			Кейс-задание	Вопросы к кейс-заданию 14-16	Кейс-задание

Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет) (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 Собеседование (зачет)

ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;

Вопросы	
1	Основные понятия химической кинетики
2	Сорбенты для хроматографии
3	Топохимические реакции в ядерной энергетике
4	Способы определения кинетических величин
5	Принципы построения технологических схем производства и эксплуатации твердых тел в ядерной технологии на основе кинетических моделей.
6	Кинетика сложных реакций
7	Адсорбционно-химические стадии гетерогенных реакций
8	Хемосорбция
9	Кинетические модели на основе уравнений Яндера, Грея-Веддингтона, Кранка-Гистлинга-Броунштейна
10	Значение адсорбционных явлений в радиохимии.
11	Применение неспецифических неизотопных носителей в радиохимии
12	Взаимодействие твердое-жидкость
13	Взаимодействие твердое-твердое
14	Основные стадии гетерогенных реакций
15	Взаимодействие твердое-газ

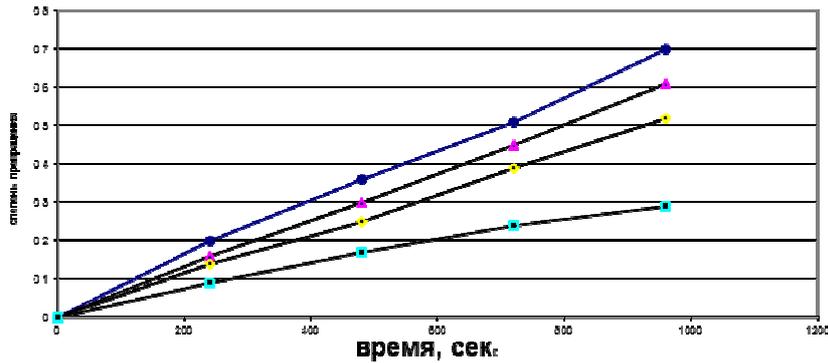
3.2 Кейс-задания к зачету

ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности.

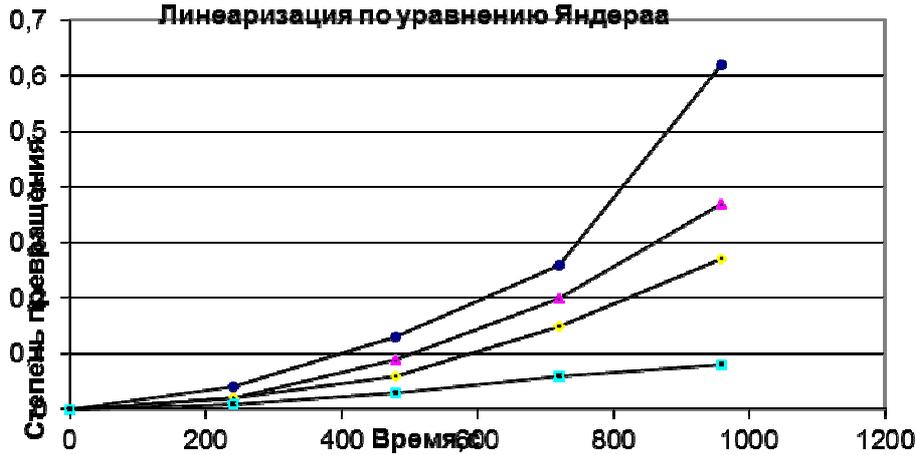
Номер задания	Текст задания																																																										
16	<p>Провести математическую обработку экспериментальных данных процесса фторирования вольфрама фтором концентрацией 12% по реакции: $W + 3F_2 = WF_6$</p> <p>Экспериментальные данные представленные в виде зависимости степени реагирования от времени приведены в таблице.</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>T, °C</th> <th colspan="4">370</th> <th colspan="4">315</th> <th colspan="4">260</th> <th colspan="4">140</th> </tr> <tr> <th>τ, мин</th> <td>4</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td> <td>4</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td> <td>4</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td> <td>4</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td> </tr> <tr> <th>α, %</th> <td>48</td><td>74</td><td>88</td><td>99</td> <td>40</td><td>66</td><td>83</td><td>94</td> <td>36</td><td>58</td><td>77</td><td>89</td> <td>25</td><td>42</td><td>56</td><td>64</td> </tr> </thead></table>	T, °C	370				315				260				140				τ, мин	4	8	12	16	4	8	12	16	4	8	12	16	4	8	12	16	α, %	48	74	88	99	40	66	83	94	36	58	77	89	25	42	56	64							
T, °C	370				315				260				140																																														
τ, мин	4	8	12	16	4	8	12	16	4	8	12	16	4	8	12	16																																											
α, %	48	74	88	99	40	66	83	94	36	58	77	89	25	42	56	64																																											
Решение																																																											
<p>Таблица линеаризации кинетических кривых</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>T, K</th> <th>τ, сек</th> <th>α</th> <th>$1-(1-\alpha)^{1/3}$</th> <th>$(1-(1-\alpha)^{1/3})^2$</th> <th>$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">643</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>240</td> <td>0,48</td> <td>0,2</td> <td>0,04</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>480</td> <td>0,74</td> <td>0,36</td> <td>0,13</td> <td>0,1</td> </tr> <tr> <td>720</td> <td>0,88</td> <td>0,51</td> <td>0,26</td> <td>0,17</td> </tr> <tr> <td>960</td> <td>0,99</td> <td>0,71</td> <td>0,62</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">588</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>240</td> <td>0,40</td> <td>0,16</td> <td>0,02</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>480</td> <td>0,66</td> <td>0,3</td> <td>0,09</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>720</td> <td>0,83</td> <td>0,45</td> <td>0,2</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>960</td> <td>0,94</td> <td>0,61</td> <td>0,37</td> <td>0,22</td> </tr> </tbody> </table>		T, K	τ, сек	α	$1-(1-\alpha)^{1/3}$	$(1-(1-\alpha)^{1/3})^2$	$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$	643	0	0	0	0	0	240	0,48	0,2	0,04	0,03	480	0,74	0,36	0,13	0,1	720	0,88	0,51	0,26	0,17	960	0,99	0,71	0,62	0,29	588	0	0	0	0	0	240	0,40	0,16	0,02	0,02	480	0,66	0,3	0,09	0,07	720	0,83	0,45	0,2	0,14	960	0,94	0,61	0,37	0,22
T, K	τ, сек	α	$1-(1-\alpha)^{1/3}$	$(1-(1-\alpha)^{1/3})^2$	$1-2/3\alpha-(1-\alpha)^{2/3}$																																																						
643	0	0	0	0	0																																																						
	240	0,48	0,2	0,04	0,03																																																						
	480	0,74	0,36	0,13	0,1																																																						
	720	0,88	0,51	0,26	0,17																																																						
	960	0,99	0,71	0,62	0,29																																																						
588	0	0	0	0	0																																																						
	240	0,40	0,16	0,02	0,02																																																						
	480	0,66	0,3	0,09	0,07																																																						
	720	0,83	0,45	0,2	0,14																																																						
	960	0,94	0,61	0,37	0,22																																																						

533	0	0	0	0	0
	240	0,36	0,14	0,02	0,02
	480	0,58	0,25	0,06	0,05
	720	0,77	0,39	0,15	0,11
	960	0,89	0,52	0,27	0,18
413	0	0	0	0	0
	240	0,25	0,09	0,01	0,01
	480	0,42	0,17	0,03	0,02
	720	0,56	0,24	0,06	0,05
	960	0,64	0,29	0,08	0,07

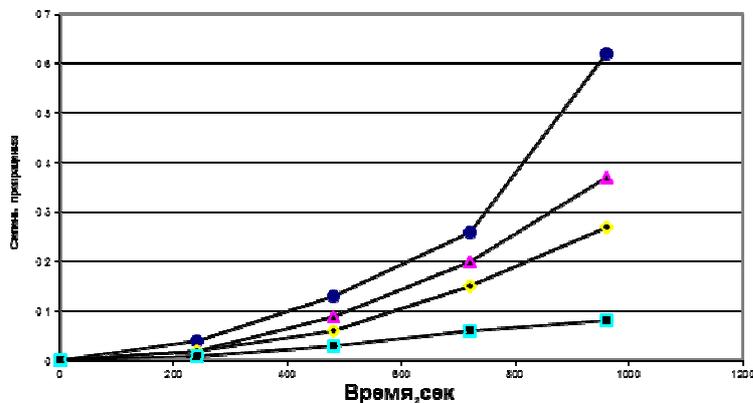
Линеаризация по уравнению сокращающейся сферы



Линеаризация по уравнению Яндераа



Линеаризация по уравнению Кранка-Гистлинга-Брунштейна



Рассчитаем тангенсы углов наклона прямых, которые соответствуют температурным константам скорости:

$$\operatorname{tg}\varphi_{413\text{К}} = 0,29/960 = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{533\text{К}} = 0,52/960 = 5,42 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

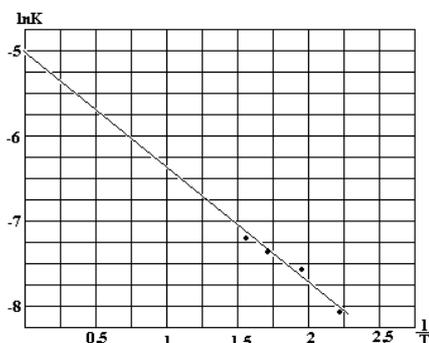
$$\operatorname{tg}\varphi_{588\text{К}} = 0,61/960 = 6,35 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{643\text{К}} = 0,71/960 = 7,40 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

По полученным температурным константам скорости строим график в координатах уравнения Аррениуса:

$$\ln k_T = \ln k_0 - (E/R) \frac{1}{T}$$

T	1/T * 10 ³	k _T * 10 ⁴	lnk _T
413	2,42	3,02	-8,11
533	1,88	5,42	-7,52
588	1,70	6,35	-7,36
643	1,56	7,40	-7,21



Из графика следует, что $\ln K_0 = -5$, тогда $K_0 = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$. Энергию Активации находим по тангенсу угла наклона прямой линии $E/R = \text{tg} \varphi = 3 / 2,25 \cdot 10^{-3} = 1333$. Отсюда находим величину энергии Активации $E = 1333R = 11083 \text{ Дж}$.

Полученные значения константы скорости и энергии Активации подставляем в исходное уравнение:

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = 0,0066 \cdot \exp\left(-\frac{11083}{RT}\right) \cdot t$$

Зависимость степени превращения от времени для данного процесса выглядит следующим образом:

$$\alpha = 1 - \left(1 - 0,0066 \cdot \exp\left(-\frac{11083}{RT}\right) \cdot t\right)^3$$

Подставляя в полученное уравнение желаемые температуру и время можно вычислить степень превращения исходного вещества в продукт при заданных условиях.

Энергия Активации процесса составила величину 11 кДж/моль. Процесс протекает во внешнедиффузионной области реагирования, что обусловлено малой концентрацией фтора в реакционном газе. Интенсифицировать процесс в области внешней диффузии можно увеличением концентрации газа и повышением скорости газового потока.

3.3 Защита лабораторной работы

ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;
радиации;

Номер вопроса	Текст вопросов к лабораторной работе
17	Кинетика реакций в изотермических условиях
18	Термический анализ.
19	Области гетерогенного реагирования
20	Методы определения порядка реакции
21	Кинетика реакций с помощью оптических методов исследования
22	Теория активированного комплекса.
23	Определение коэффициентов распределения
24	Морфологические модели образования и роста зародышей
25	Экстракция, основные понятия и определения.

3.4 Домашнее задание

ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;

№ задания	Условие типовой задачи (формулировка задания)																																																			
26	<p>Рассчитать кинетические константы, вывести кинетическое уравнение, определить область реагирования и факторы влияющие на интенсификацию реакции для процесса гидрофторирования диоксида урана по реакции:</p> $\text{UO}_2 + 4\text{HF} \rightarrow \text{UF}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>Экспериментальные данные представлены в виде зависимости степени реагирования от времени приведены в таблице.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T, °C</th> <th colspan="4">500</th> <th colspan="4">400</th> <th colspan="4">350</th> <th colspan="4">300</th> </tr> <tr> <th>t, мин</th> <td>2</td><td>5</td><td>7</td><td>10</td> <td>2</td><td>5</td><td>7</td><td>10</td> <td>2</td><td>5</td><td>7</td><td>10</td> <td>2</td><td>5</td><td>7</td><td>10</td> </tr> <tr> <th>α, %</th> <td>80</td><td>91</td><td>98</td><td>100</td> <td>67</td><td>86</td><td>93</td><td>99</td> <td>60</td><td>81</td><td>89</td><td>98</td> <td>32</td><td>54</td><td>69</td><td>80</td> </tr> </thead></table>	T, °C	500				400				350				300				t, мин	2	5	7	10	2	5	7	10	2	5	7	10	2	5	7	10	α, %	80	91	98	100	67	86	93	99	60	81	89	98	32	54	69	80
T, °C	500				400				350				300																																							
t, мин	2	5	7	10	2	5	7	10	2	5	7	10	2	5	7	10																																				
α, %	80	91	98	100	67	86	93	99	60	81	89	98	32	54	69	80																																				
27	В каких процессах получения урана используются адсорбционные методы ?																																																			
28	<p>Вам предоставлены данные термогравиметрического анализа гелей оксидов редкоземельных элементов</p> <p>2.1. Построить график зависимости степени превращения (дегидратации) от времени</p> <p>2.2. Построить график зависимости логарифма степени превращения от обратной температуры.</p>																																																			
29	Напишите примеры реакций, проходящих на границе твердое тело-газ																																																			

3.5 Тесты (тестовые задания к отчетам по лабораторным работам, зачету)

ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;

Тест (тестовое задание)	
30	<p>Скорость сложной реакции определяется скоростью:</p> <p>а) в равной степени скоростями всех элементарных стадий;</p> <p>б) самой медленной стадии;</p> <p>в) самой быстрой стадии.</p>
31	<p>Интервал энергий активации в котором одна из стадий является лимитирующей называется:</p> <p>а) областью реагирования</p> <p>б) кинетической областью;</p> <p>в) переходной областью</p>
32	<p>Реакции, происходящие в твердой фазе на границе раздела твердое исходное вещество – твердый продукт реакции называются</p> <p>а) топохимическими</p> <p>б) кинетическими</p> <p>в) изотермическими</p>
33	<p>Способ ускорения процесса на кинетической стадии:</p> <p>а) повышение температуры</p> <p>б) перемешивание среды</p> <p>в) измельчение частиц</p>
34	<p>Модель сокращающейся сферы описывает формула:</p> <p>а) $1 - (1 - \alpha)^{1/3} = k \cdot t$</p>

	б) $\left(1 - (1 - \alpha)^{1/3}\right)^2 = k \cdot t$ в) $1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = k \cdot t$
35	Для того, чтобы определить какое из уравнений более точно описывает экспериментальные данные, необходимо: а) пересчитать степень реагирования в анаморфозы нескольких уравнений б) построить график зависимости степени превращения от температуры в) пересчитать по уравнению Аррениуса
36	Основное условие при экспериментальном исследовании кинетики гетерогенных реакций: а) обеспечение однородности по всем параметрам б) обеспечение однородности по объемной доле газообразного реагента в) обеспечение однородности по составу исследуемой твердой фазы
37	Для исследования кинетики гетерогенных процессов, протекающих с образованием твердых или газообразных продуктов реакции, широкое применение получили а) статические, проточные и безградиентные методы б) только статические методы в) только проточные методы
38	В термическом анализа площадь пика на кривой ДТА (ДСК) пропорциональна а) величине теплового эффекта б) потере массы г) теплопроводности образца
39	Квазигомогенная модель реагирования основана на том, что внешний газ проникает внутрь частицы и взаимодействует с веществом а) во всем объеме б) на поверхности раздела в) в центре частицы

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
«Химическая кинетика гетерогенных процессов»
 применяется бально-рейтинговая система оценки студента.

1. Рейтинговая система оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является текущий опрос в виде отчета по лабораторной работе, сдачи коллоквиума, выполнение домашнего задания, коллоквиум оценивается по системе «зачтено»-«незачтено»(в рейтинге за коллоквиум зачтено - 5, незачтено - 2). Если по рейтингу студент набрал более 60 баллов, то зачет по дисциплине выставляется автоматически.

2. Бальная система служит для получения зачета по дисциплине.

Максимальное число баллов за семестр – 100.

Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре – 50.

Максимальное число баллов на зачете – 50.

Минимальное число баллов за текущую работу в семестре – 30.

Бакалавр 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.

Бакалавр, набравший за текущую работу менее 30 баллов, т.к. не выполнил всю работу в семестре по объективным причинам (болезнь, официальное освобождение и т.п.) допускается до

зачета, однако ему дополнительно задаются вопросы на собеседовании по разделам, выносимым на зачет.

В случае неудовлетворительной сдачи зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии. При повторной сдаче зачета количество набранных студентом баллов на предыдущем зачете не учитывается.

Зачет проводится в виде тестового задания и кейс-задания.

Тестовые задания могут включать следующие блоки, представленные в таблице:

Максимальное количество заданий в **билете – 20.**

Максимальная сумма баллов – **50.**

При частично правильном ответе **сумма баллов делится пополам.**

Для получения оценки «зачтено» суммарная балльно-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на зачете, **должна быть не менее 60 баллов.**

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

Результаты обучения (на основе обобщённых компетенций)	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценки	Критерии оценки	Шкала оценки	
				Академическая оценка (зачтено/незачтено)	Уровень освоения компетенции
ОПК-1 Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности;					
Знать Основные законы химической кинетики, границы применения кинетических моделей; кинетику топохимических реакций,	Тест	Результат тестирования	50% и более правильных ответов	Зачтено	освоена (базовый, повышенный)
			менее 50% правильных ответов	Не зачтено	не освоена (недостаточный)
	Собеседование (зачет)	использует знания механизма и кинетические закономерностей протекания гетерогенных реакций	Обучающийся полно и последовательно раскрыл тему вопросов	Зачтено	освоена (базовый, повышенный)
			Обучающийся неполно и/или непоследовательно раскрыл тему вопросов	Не зачтено	не освоена (недостаточный)
Уметь выполнить первичную обработку кинетических кривых с целью применимости той или иной кинетической модели;	Отчет по лабораторной работе	Построение и анализ кинетических кривых Решение задач	Обучающийся правильно выполнил все задания	Зачтено	освоена (базовый, повышенный)
	Домашнее задание		Обучающийся не правильно выполнил более 50% задач	Не зачтено	не освоена (недостаточный)
Владеть навыками проведения кинетических исследований с использованием статических, проточных и безградиентных методов	Отчет по лабораторной работе	Построение кинетических кривых Содержание кейс-задания.	Обучающийся разобрался в предложенной конкретной ситуации, самостоятельно решил поставленную задачу.	Зачтено	освоена (повышенный)
	Кейс-задача		Обучающийся не решил поставленную задачу, не предложил вариантов решения	Не зачтено	не освоена (недостаточный)

