

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики
Г.Н. Суворов
«25» март 2026 г.



ИНЖЕНЕРНАЯ ХИМИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Рабочая программа
для обучающихся по научной специальности
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий
форма обучения (очная)

Загоруйко А.Н., Григорьев М.В., Султанов Б.Ф. Инженерная химия каталитических процессов. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий, форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, утверждены приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г., № 951.

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Инженерная химия каталитических процессов» опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения модуля «Инженерная химия каталитических процессов» является формирование у обучающихся компетенций, необходимых для профессиональной научно-исследовательской и инженерной деятельности в области гетерогенного катализа, включая способность: анализировать кинетические закономерности и гидродинамические режимы каталитических процессов; выполнять математическое моделирование, расчёт и оптимизацию каталитических реакторов и химико-технологических схем с использованием современных программных комплексов (COMSOL, FLUENT, HYSYS); разрабатывать и внедрять ресурсо- и энергосберегающие каталитические технологии, включая процессы охраны окружающей среды.

Задачи:

- Освоить теоретические основы инженерной химии каталитических процессов, включая: структурный анализ каталитических систем (от молекулярного до промышленного уровня); кинетику каталитических реакций, методы расчёта кинетических параметров, влияние технологических факторов; теорию работы реакторов в режимах идеального вытеснения, идеального смешения, адиабатических и полочных реакторов; промышленные каталитические процессы, химико-технологические схемы (получение азотной кислоты, обезвреживание отходящих газов); современные тенденции развития каталитических технологий.

- Сформировать умения: анализировать кинетические параметры каталитических реакций с учётом технологических условий; подбирать тип каталитического реактора и определять его рабочий режим для различных технологических задач; анализировать гидродинамические режимы в реакторах с неподвижным и движущимся слоями катализатора; применять программные комплексы (COMSOL, FLUENT, HYSYS) для моделирования и оптимизации каталитических процессов; использовать полученные знания для решения научных и практических задач химической технологии.

- Сформировать навыки: расчёта и моделирования каталитических процессов в среде COMSOL, FLUENT, HYSYS; экспериментальных и вычислительных исследований параметров каталитических реакторов и технологических схем; оптимизации гидродинамических и тепловых режимов в различных типах каталитических реакторов; реализации алгоритма расчёта и проектирования новых каталитических процессов и оборудования.

- Освоить на практических примерах расчёт и анализ: влияния внутренней диффузии (окисление метана, получение формальдегида); рабочих режимов в адиабатическом и полочном реакторах; оптимизации процессов в трубчатом и комбинированном реакторах; реверс-процесса обезвреживания отходящих газов от сернистых соединений; химико-технологической схемы получения азотной кислоты в HYSYS; процессов на блочных катализаторах (FLUENT) и в реакторах с псевдоожиженным слоем (COMSOL).

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

ПК-1 - способность к использованию профильно-специализированных знаний в области этапов и методов приготовления катализаторов, включая современные и классические подходы к синтезу, модификации, подготовке исходных веществ, для решения научных и практических задач, возникающих при изучении и создании ресурсо- и энергосберегающих процессов в химической и смежных отраслях промышленности;

ПК-2 - применять фундаментальные знания о типах и свойствах носителей катализаторов, методах их получения и модификации, а также физико-химические принципы процессов осаждения, термической обработки и механического смешения для решения задач, возникающих при создании ресурсо- и энергосберегающих технологий на основе каталитических и адсорбционных процессов;

ПК-3 - способность к использованию профильно-специализированных знаний в области методов нанесения активных компонентов, нетрадиционных (инновационных) подходов к синтезу катализаторов и адсорбентов, а также физико-химических процессов, протекающих при их получении, для решения задач, возникающих при изучении и создании ресурсо- и энергосберегающих процессов в химической и смежных отраслях промышленности.

В результате освоения дисциплины «Инженерная химия каталитических процессов» обучающихся по направлениям подготовки 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий обучающийся должен:

Знать:

- Основы структурного анализа каталитических процессов: понятия, методы и подходы к исследованию каталитических систем на различных уровнях (от молекулярного до промышленного).
- Кинетика каталитических реакций: механизмы и закономерности протекания каталитических реакций, методы расчёта и анализа кинетических параметров, влияние технологических факторов на кинетику.
- Промышленные каталитические процессы и химико-технологические схемы: примеры реализации каталитических процессов в промышленности, особенности построения и анализа ХТС.
- Современные тенденции развития каталитических технологий: инновационные подходы, новые материалы, процессы и оборудование для повышения ресурсо- и энергосбережения.
- Методы определения основных характеристик каталитических процессов: расчет параметров реакторов, анализ влияния внутренних и внешних факторов на показатели процесса
- Теория и расчёт работы реакторов в различных режимах: идеальное вытеснение, идеальное смешение, адиабатические и полочные реакторы.
- Оптимизация процессов в различных типах реакторов: разработка алгоритмов, моделирование с использованием специализированных программных пакетов (COMSOL, FLUENT, HYSYS).
- Способы расчета и оптимизации химико-технологических схем для каталитических процессов, включая обезвреживание отходящих газов и производство ключевых продуктов (например, азотной кислоты).

Уметь:

- Анализировать кинетические параметры каталитических реакций с учетом технологических условий;
- Подбирать типы каталитических реакторов и определять их рабочие режимы для различных технологических задач;
- Анализировать гидродинамические режимы в реакторах с неподвижным и движущимся слоями катализатора;
- Использовать современные программные комплексы (COMSOL, FLUENT, HYSYS) для моделирования и оптимизации каталитических процессов;
- Применять полученные знания для решения научных и практических задач в области химической технологии и смежных отраслей.

3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		4
Общий объем зач. ед. час	3	3
	108	108
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	22	22
Лекции	12	12
Практические занятия	10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	50	50

Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	Дифференцированный зачет 36
--	----	--------------------------------

4. Система оценивания

Для получения оценки обучающиеся должны сдать дифференцированный зачет. Зачет проводится в форме устного собеседования по заранее определенным вопросам. Время на подготовку к ответу – до 20 минут. Ответ должен быть развернутым, демонстрировать понимание физико-химической сущности процессов, знание методов приготовления и анализа, способность применять знания для решения практических задач.

Критерии оценивания ответа обучающихся на дифференцированном зачете:

Оценка *«отлично»* выставляется обучающемуся, который дает полный, развернутый ответ на все поставленные вопросы, раскрывает основные положения темы. Обучающийся показывает умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи в процессах приготовления катализаторов и адсорбентов. В ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, методов и физико-химических явлений. Ответ излагается литературным языком с использованием научных терминов.

Оценка *«хорошо»* выставляется обучающемуся, который дает верный ответ на поставленные вопросы, раскрывает основные положения темы; показывает умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи в процессах приготовления катализаторов и адсорбентов. Однако в ответе не прослеживается четкая структура, логическая последовательность, ответ излагается недостаточно грамотно. Обучающийся демонстрирует знание основных этапов и методов приготовления катализаторов, но испытывает затруднения при анализе влияния параметров процесса на структурно-фазовые характеристики или при обосновании выбора оптимальных режимов обработки. Допускает незначительные ошибки в терминологии, которые исправляет при дополнительных вопросах преподавателя.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется обучающемуся, который дает неполный ответ на поставленные вопросы, раскрывает не все основные положения темы.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется обучающемуся, который дает неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. В ответе присутствует фрагментарность, нелогичность изложения. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, научная терминология не используется или используется некорректно. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа обучающегося не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины, либо обучающийся отказывается от ответа. Обучающийся не демонстрирует понимания.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Введение. Структурный анализ процессов в каталитических	2	2	0	0	0

	системах. Кинетика каталитических реакций с точки зрения химика- технолога					
2.	Каталитический процесс в зерне катализатора. Типы каталитических реакторов. Гидродинамика неподвижного зернистого слоя	2	2	0	0	0
3.	Реакторы с неподвижным слоем. Реакторы с движущимися слоями катализатора. Каталитические процессы для охраны окружающей среды	2	2	0	0	0
4.	Примеры промышленных каталитических процессов, химико- технологически е схемы (ХТС). Современные тенденции развития перспективных технологий	2	2	0	0	0
5.	Определение основных характеристик процесса в каталитическом реакторе. Оценка влияния внутренней диффузии на примере процессов окисления метана и получения формальдегида	2	2	0	0	0

6.	Расчет каталитического процесса в режимах идеального вытеснения и идеального смешения при протекании сложной реакции. Определение рабочих режимов в адиабатическом и полочном реакторе	2	2	0	0	0
7.	Оптимизация процессов в трубчатом и комбинированном реакторе	2	0	2	0	0
8.	Освоение процесса создания алгоритма и макета реактора очистки от нитрозных газов из библиотеки моделей COMSOL	2	0	2	0	0
9.	Расчет процесса на блочных катализаторах с использованием пакета программ FLUENT; определение оптимальных условий реализации процесса в реакторе с псевдоожиженным слоем COMSOL	2	0	2	0	0
10.	Расчет реверса-процесса для обезвреживания отходящих газов от сернистых соединений химических и	2	0	2	0	0

	металлургическ их производств					
11.	Расчет химико-технологическо й схемы для процесса получения азотной кислоты HYSYS	2	0	2	0	0
12.	Дифференциров анный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

Тема 1. Введение. Структурный анализ процессов в каталитических системах. Кинетика каталитических реакций с точки зрения химика-технолога.

Рассматриваются основные понятия инженерной химии каталитических процессов, структура и уровни организации каталитических систем, методы структурного анализа и их значение для понимания поведения гетерогенных катализаторов в промышленных условиях. Изучаются основы кинетики каталитических реакций, подходы к описанию скорости реакций, методы экспериментального и теоретического определения кинетических параметров, влияние технологических факторов на кинетику и способы управления процессом на практике.

Тема 2. Каталитический процесс в зерне катализатора. Типы каталитических реакторов; гидродинамика неподвижного зернистого слоя.

Разбираются процессы, происходящие внутри зерна катализатора, включая распределение реагентов и продуктов, тепловые эффекты и механизмы внутренней диффузии, а также их влияние на эффективность и селективность каталитических реакций. Анализируются различные типы каталитических реакторов, их конструктивные особенности, а также основные принципы гидродинамики в реакторах, закономерности движения фаз, распределение потоков и влияние гидродинамики на процесс.

Тема 3. Реакторы с неподвижным слоем. Реакторы с движущимися слоями катализатора; каталитические процессы для охраны окружающей среды.

Рассматриваются особенности проектирования и эксплуатации реакторов с неподвижным слоем катализатора, преимущества и ограничения таких аппаратов, методы повышения эффективности процессов и обеспечения стабильности работы системы. Изучаются устройства и принципы работы реакторов с движущимися слоями катализатора, а также примеры их применения для решения экологических задач, в том числе очистки промышленных выбросов и обезвреживания вредных соединений.

Тема 4. Примеры промышленных каталитических процессов, химико-технологические схемы (ХТС). Современные тенденции развития перспективных технологий.

Приводятся конкретные примеры реализации промышленных каталитических процессов, анализируются их основные стадии и технологические схемы, рассматриваются вопросы интеграции каталитических стадий в общую химико-технологическую схему производства. Обсуждаются инновационные направления развития каталитических технологий, внедрение новых материалов, реакторов и методов управления процессами для повышения эффективности, ресурсо- и энергосбережения, а также экологической безопасности.

Тема 5. Определение основных характеристик процесса в каталитическом реакторе. Оценка влияния внутренней диффузии на примере процессов окисления метана и получения формальдегида. Рассматриваются методы определения и расчета ключевых параметров процесса в каталитическом реакторе, включая конверсию, селективность, производительность и энергоэффективность, а также способы их оптимизации. Анализируется влияние внутренних диффузионных ограничений на скорость и селективность химических превращений на примере промышленных процессов, рассматриваются подходы к моделированию и расчету таких процессов.

Тема 6. Расчет каталитического процесса в режимах идеального вытеснения и идеального смешения при протекании сложной реакции. Определение рабочих режимов в адиабатическом и полочном реакторе.

Проводится анализ и обсуждение результатов экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в рамках курса. Особое внимание уделяется оформлению научных отчетов, подготовке презентаций и публикаций, а также навыкам публичного представления и аргументации полученных данных. Разбираются особенности работы и расчета адиабатических и полочных реакторов, методы определения оптимальных режимов функционирования с целью повышения эффективности каталитических процессов.

Тема 7. Оптимизация процессов в трубчатом и комбинированном реакторе.

Анализируются подходы к оптимизации работы трубчатых и комбинированных реакторов, рассматриваются методы повышения производительности, снижения энергозатрат и улучшения эксплуатационных характеристик оборудования.

Тема 8. Освоение процесса создания алгоритма и макета реактора очистки от нитрозных газов из библиотеки моделей COMSOL.

Практическое занятие по разработке алгоритма расчета и компьютерного макета реактора для очистки от нитрозных газов с использованием программного пакета COMSOL, освоение инструментов моделирования и анализа результатов.

Тема 9. Расчет процесса на блочных катализаторах с использованием пакета программ FLUENT; определение оптимальных условий реализации процесса в реакторе с псевдоожиженным слоем COMSOL.

Рассматриваются методы моделирования процессов на блочных катализаторах с помощью FLUENT, а также определение оптимальных условий для процессов в реакторах с псевдоожиженным слоем на основе моделирования в среде COMSOL.

Тема 10. Расчет реверса-процесса для обезвреживания отходящих газов от сернистых соединений химических и металлургических производств.

Изучаются методы расчета и моделирования реверса-процессов для эффективного обезвреживания отходящих газов, особенности применения таких процессов в химической и металлургической промышленности.

Тема 11. Расчет химико-технологической схемы для процесса получения азотной кислоты HYSYS.

Практическое занятие по расчету и анализу химико-технологической схемы промышленного получения азотной кислоты с использованием программного комплекса HYSYS, рассмотрение ключевых этапов процесса и методов оптимизации.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Введение. Структурный анализ процессов в каталитических системах. Кинетика каталитических реакций с точки зрения химика-технолога.	Изучение учебной литературы по уровням организации каталитических систем. Подготовка к устному опросу (5 вопросов). Работа с глоссарием (10 терминов). Повторение кинетических уравнений (Ленгмюра-Хиншельвуда, Аррениуса). Решение домашней расчётной задачи (по индивидуальному варианту).

2.	Каталитический процесс в зерне катализатора. Типы каталитических реакторов; гидродинамика неподвижного зернистого слоя.	Изучение моделей диффузии в пористой среде. Подготовка к расчётной задаче по модулю Тиле и фактору эффективности. Работа с научной статьёй (по выбору). Подготовка к тестированию по типам реакторов и гидродинамическим режимам. Решение задачи на расчёт перепада давления (уравнение Эргуна).
3.	Реакторы с неподвижным слоем. Реакторы с движущимися слоями катализатора. Каталитические процессы для охраны окружающей среды	Проработка конструктивных схем реакторов. Выполнение курсового задания (начальный этап: сбор данных, выбор катализатора). Подготовка реферата/доклада (выбор темы из списка, подбор литературы, написание текста). Подготовка презентации (5-7 слайдов).
4.	Примеры промышленных каталитических процессов, химико-технологические схемы (ХТС). Современные тенденции развития перспективных технологий	Анализ заданной ХТС (по индивидуальному варианту). Построение упрощённой блок-схемы. Подготовка к устному опросу по промышленным процессам. Написание эссе на выбранную тему (объём 2–3 стр.). Поиск и обзор современных публикаций (не менее 3 за последние 3 года). Подготовка презентации.
5.	Определение основных характеристик процесса в каталитическом реакторе. Оценка влияния внутренней диффузии на примере процессов окисления метана и получения формальдегида	Решение комплекса задач на расчёт конверсии, селективности, выхода, производительности. Подготовка к тестированию (расчётные формулы). Выполнение комплексной расчётной задачи (индивидуальные данные). Анализ предложенных графических зависимостей (эффективность vs модуль Тиле).
6.	Расчет каталитического процесса в режимах идеального вытеснения и идеального смешения при протекании сложной реакции. Определение рабочих режимов в адиабатическом и полочном реакторе	Сравнительный расчёт РИВ и РИС (аналитически и в COMSOL). Подготовка отчёта по результатам. Решение задачи на расчёт температурного профиля и числа полок. Подготовка к тестированию по адиабатическим и полочным реакторам.
7.	Оптимизация процессов в трубчатом и комбинированном реакторе	Выполнение оптимизационной задачи (подбор температуры теплоносителя, длины зон). Анализ результатов параметрической оптимизации. Подготовка краткого отчёта.
8.	Освоение процесса создания алгоритма и макета реактора очистки от нитрозных газов из библиотеки моделей COMSOL	Доработка модели в COMSOL (самостоятельное воспроизведение алгоритма). Подготовка отчёта по практической работе. Изучение дополнительной документации по COMSOL (модуль Chemical Reaction Engineering).
9.	Расчет процесса на блочных катализаторах с использованием пакета программ FLUENT; определение оптимальных условий реализации процесса в реакторе с псевдооживленным слоем COMSOL	Доработка моделей в FLUENT и COMSOL. Проведение параметрических расчётов (скорость газа, температура). Подготовка сводного отчёта и презентации для защиты.

10.	Расчет реверса-процесса для обезвреживания отходящих газов от сернистых соединений химических и металлургических производств	Выполнение комплексной расчётной работы (материальный баланс, объём катализатора, длительность полуцикла). Построение температурного профиля. Доработка модели в HYSYS/COMSOL (по желанию).
11.	Расчет химико-технологической схемы для процесса получения азотной кислоты HYSYS	Доработка курсового проекта (расчёт ХТС в HYSYS). Подготовка презентации для защиты. Оформление пояснительной записки.
12.	Дифференцированный зачет	Вопросы и задания к зачету

7. Промежуточная аттестация по дисциплине

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Промежуточная аттестация по дисциплине «Инженерная химия каталитических процессов» проводится в форме зачёта.

Каждый билет включает два вопроса:

Теоретический вопрос – проверка знаний основных понятий, закономерностей, типов реакторов, кинетики, ХТС.

Практико-ориентированный вопрос (задача) – проверка умения выполнять расчёты (конверсия, селективность, диффузия, сравнение РИВ и РИС, температурный профиль и др.).

Примерный перечень теоретических вопросов к дифференцированному зачёту:

Раздел 1. Основы инженерной химии каталитических процессов

1. Дайте определение инженерной химии каталитических процессов. Назовите основные уровни организации каталитических систем.
2. Что такое структурный анализ каталитического процесса? Какие методы используются?
3. Опишите основные этапы гетерогенного каталитического процесса.

Раздел 2. Кинетика каталитических реакций

4. Запишите уравнение Аррениуса. Поясните физический смысл энергии активации и предэкспоненциального множителя.
5. Как влияет температура на скорость каталитической реакции? Приведите примеры.
6. Что такое уравнение Ленгмюра-Хиншельвуда? Для каких процессов оно применяется?
7. Объясните разницу между кинетической и диффузионной областями протекания реакции.

Раздел 3. Каталитический процесс в зерне катализатора

8. Что такое модуль Тиле? Как он характеризует влияние внутренней диффузии?
9. Что такое фактор эффективности (коэффициент использования) зерна катализатора? От каких параметров он зависит?
10. Опишите распределение концентрации реагента внутри пористого зерна для реакции первого порядка.

Раздел 4. Типы каталитических реакторов

11. Перечислите основные типы каталитических реакторов. Дайте их краткую характеристику.
12. Опишите гидродинамику реактора с неподвижным зернистым слоем. Какие проблемы могут возникать?
13. Уравнение Эргуна: назначение, структура, физический смысл членов.
14. Реакторы с псевдооживленным слоем: принцип работы, преимущества и недостатки.
15. Реакторы с движущимся слоем катализатора: где применяются, особенности конструкции.

Раздел 5. Режимы работы реакторов

16. Дайте определение режима идеального вытеснения (РИВ). При каких условиях он реализуется?
17. Дайте определение режима идеального смешения (РИС). При каких условиях он реализуется?
18. Сравните РИВ и РИС по конверсии и селективности для простых и сложных реакций.
19. Адиабатический реактор: особенности работы, расчёт температурного профиля.
20. Полочный реактор: конструкция, принцип работы, методы расчёта числа полок.

Раздел 6. Промышленные каталитические процессы и ХТС

21. Опишите химико-технологическую схему производства азотной кислоты. Укажите каталитические стадии.
22. Каталитические методы очистки отходящих газов от оксидов азота (NO_x) и сернистых соединений.
23. Что такое реверс-процесс? Для каких задач он применяется?
24. Приведите примеры промышленных процессов окисления на серебряном или платиновом катализаторе.

Раздел 7. Моделирование и оптимизация

25. Какие программные комплексы используются для моделирования каталитических процессов? Их назначение.
26. Какие задачи можно решать в COMSOL Multiphysics для каталитических реакторов?
27. Для чего используется пакет FLUENT? Приведите примеры применения.
28. Назначение и возможности программного комплекса HYSYS в расчёте ХТС.
29. Какие параметры оптимизируют в трубчатом каталитическом реакторе?
30. Назовите способы повышения ресурсо- и энергоэффективности каталитических процессов.

Примерные практические задания (задачи) к зачёту

Задача 1. Расчёт конверсии, селективности и выхода

В реакторе протекает реакция: $A \rightarrow B$ (целевой), $A \rightarrow C$ (побочный). На входе расход A составляет 100 моль/ч. На выходе: A – 20 моль/ч, B – 60 моль/ч, C – 15 моль/ч. Рассчитайте: конверсию A , селективность по B , выход продукта B .

Задача 2. Оценка влияния внутренней диффузии

Для реакции первого порядка дано: константа скорости $k = 0.2 \text{ с}^{-1}$, эффективный коэффициент диффузии $D_e = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, радиус зерна $R = 1.5 \text{ мм}$.

Рассчитайте: модуль Тиле (ϕ) и фактор эффективности (η) для сферического зерна. Сделайте вывод о режиме протекания реакции.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература:

1. Хайбуллин, А. А. Кинетика и катализ в химической технологии : учебное пособие / А. А. Хайбуллин. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. — 204 с. — ISBN 978-5-9729-1633-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система Znanium : [сайт]. — URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=452222> (дата обращения: 21.05.2026).

8.2. Дополнительная литература:

1. Панченков, Георгий Митрофанович. Химическая кинетика и катализ : [учебное пособие для студентов химических и химико-технологических специальностей высших учебных заведений] / Г. М. Панченков, В. П. Лебедев. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Химия, 1974. 591 с. : ил. ; 22 см. (в пер.) : 1.55 р.

8.3. Интернет-ресурсы:

1. Научная электронная библиотека www.elibrary.ru. (дата обращения: 06.05.2026);

2. Образовательные ресурсы «Единое окно» <http://window.edu.ru/window/library> (дата обращения: 06.05.2026);
3. ЭБС «Юрайт» <https://urait.ru/book> (дата обращения: 06.05.2026);
4. ЭБС «Лань» <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 06.05.2026);
5. Платформа «Знаниум» <https://znanium.com/> (дата обращения: 06.05.2026)

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

При реализации дисциплины используется лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства: Яндекс.Мессенджер, Яндекс.Телемост и Яндекс.Диск, антивирусное ПО Kaspersky; FAR Manager, офисный пакет Р7-Офис.

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории, в которых обеспечены проводное подключение ПК к локальной сети и сети Интернет, а также доступ к электронно-библиотечным системам, электронной информационно-образовательной среде, современным профессиональным базам данных и информационно-справочным системам:

Мультиформатная учебная аудитория для проведения лекционных занятий.

Основное оборудование:

- Столы – 76 шт.
- Стулья – 123 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 4 шт.
- Двухсторонняя мобильная стеклянная маркерная доска на металлических ножках – 1 шт.
- Двухсторонняя мобильная доска на металлическом основании – 1 шт.
- Технические средства обучения: Интерактивная панель – 1 шт.
- Лазерный проектор – 2 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 2 шт.
- ТВ-панель настенная – 2 шт.
- Потолочный микрофонный массив – 2 шт.
- PTZ-камера с автотрекингом – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК в комплекте с монитором – 1 шт.
- Мультимедийная трибуна – 1 шт.
- Сенсорный монитор – 1 шт.
- Настольный микрофон – 1 шт.
- Панель управления аудиторией – 1 шт.
- Система коммутация аудио и видеосигнала – 1 шт.

Мультимедийная учебная аудитория для проведения практических и семинарских занятий.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя - 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 1 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Компьютерный класс (используется для практических занятий, численного моделирования, обработки и визуализации данных, подготовки научных материалов).

Основное оборудование:

- Столы – 30 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 31 шт.

Помещение для самостоятельной работы.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Помещение для самостоятельной работы (коворкинг используется как помещение для самостоятельной работы аспирантов, подготовки публикаций, докладов, отчетов, презентаций и материалов диссертации).

Основное оборудование:

- Столы – 22 шт.
- Кресла – 22 шт.
- Технические средства обучения: ПК типа «моноблок» – 10 шт.

Кабинет для проведения групповых и индивидуальных консультаций.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Кабинет для проведения промежуточной и итоговой аттестации.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 1 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.
- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа по модулю «Инженерная химия каталитических процессов» направлена на закрепление лекционного материала и формирование практических навыков.

- Аспирантам рекомендуется изучить основную и дополнительную литературу для углубления теоретических знаний по кинетике и типам реакторов.
- При выполнении расчётных задач важно освоить алгоритмы определения конверсии, селективности, фактора эффективности зерна и сравнения режимов идеального вытеснения и смешения.
- Особое внимание следует уделить практической работе в программных комплексах COMSOL, FLUENT и HYSYS, где необходимо последовательно создавать геометрию, задавать граничные условия и анализировать поля концентраций.
- Подготовка рефератов и эссе требует работы с актуальными научными статьями.
- Для успешной сдачи зачёта рекомендуется регулярно повторять терминологию и типовые задачи.

Все виды самостоятельной работы должны выполняться планомерно, с фиксацией возникающих вопросов для последующего обсуждения с преподавателем на консультациях.