Рабочая программа дисциплины (модуля) «Химические реакторы», включая оценочные материалы

1. Требования к результатам обучения по дисциплине (модулю)

1.1. Перечень компетенций, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Группа компетенций	Категория компетенций	Коды и содержание компетенций
Универсальные	-	-
Общепрофессиональные	-	ОПК-2. Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование в профессиональной и научно-исследовательской деятельности
	-	ОПК-5. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
Профессиональные	-	ПК-2. Способен использовать, проверять техническое состояние оборудования, организовывать его профилактические осмотры и текущий ремонт, готовностью к освоению и эксплуатации нового оборудования

1.2. Компетенции и индикаторы их достижения, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Содержание индикатора компетенции
ОПК-2	ОПК-2.1	Решает задачи профессиональной деятельности с использованием современного технологического и аналитического оборудования
ОПК-5	ОПК-5.1	Применяет средства современных информационных технологий для поиска, хранения, обработки, анализа и представления информации
ПК-2	ПК-2.1	Выбирает и эксплуатирует технологическое оборудование при производстве основных функциональных материалов ядерного топливного цикла

1.3. Результаты обучения по дисциплине (модулю)

Цель изучения дисциплины (модуля) – изучение основных закономерностей химических процессов, протекающих в реакционных аппаратах, и основ теории химических реакторов, рассмотрение основных методов и приемов повышения эффективности их работы, формирование у студента знаний и умений, необходимых для выбора и расчета химических реакторов для осуществления химико-технологических процессов.

В результате изучения дисциплины (модуля) обучающийся должен

знать:

- основные уравнения химической термодинамики применительно к химическим реакциям; уравнения формальной кинетики и кинетики сложных, цепных гетерогенных реакций;
- физико-химические закономерности адсорбционных и каталитических явлений и их природу;
- особенности конструкции химических реакторов в основных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии методы термодинамического описания химических равновесий в многокомпонентных системах;
- необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов;
- особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений;
- физико-химические основы моделирования химических реакторов; способы повышение эффективности реакторных систем;

- способы анализа технологических процессов в химических реакторах и выявления его недостатков;
- средства, методы повышения безопасности при эксплуатации химических реакторов;

уметь:

- прогнозировать влияние различных факторов на равновесие в химических реакциях;
- определять направленность процесса в заданных начальных условиях;
- определять составы сосуществующих фаз в гетерогенных системах; оценивать влияние режимных параметров процесса на протекание химических реакций;
- анализировать и проводить экспериментальные исследования с целью изучения химических превращений;
- составлять кинетические уравнения в дифференциальной и интегральной формах для кинетически простых реакций и прогнозировать влияние температуры на скорость процесса;
- рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта с точки зрения сбережения материальных и энергетических ресурсов;
- анализировать технологический процесс в работе химических реакторов, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию;
- принимать конкретное техническое решение в работе химических реакторов с учетом охраны труда, радиационной безопасности и окружающей среды;

владеть:

- навыками вычисления тепловых эффектов химических реакций при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема;
- констант равновесия химических реакций при заданной температуре, давления насыщенного пара над индивидуальным веществом;
- представлениями об основных проблемах и задачах разработки и применения химических реакторов;
- методами определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента;
- навыком расчетов реакторных устройств в масштабе лабораторной установки, а также в промышленных масштабах для новых и действующих промышленных объектов;
- навыком моделирования химических реакторов;
- методами анализа эффективности работы химических производств; определения технологических показателей процесса;
- навыками осуществления технологического процесса в работе химических реакторов;
- навыками разработки мероприятий по совершенствованию технологического процесса в работе химических реакторов.

2. Объем, структура и содержание дисциплины (модуля)

2.1. Объем дисциплины (модуля)

Виды учебной работы	***Формы обучения***
	Очная
Общая трудоемкость: зачетные единицы/часы	5/180
Контактная работа:	90
Занятия лекционного типа	36
Занятия семинарского типа	54
Консультации	0
Промежуточная аттестация: экзамен	36
Самостоятельная работа (СР)	54

2.2. Темы (разделы) дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества часов по формам образовательной деятельности

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Виды учебной работы (в часах)						
		Контактная работа						СР
		Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				
		Л	Иные	ПЗ	С	ЛР	Иные	
1.	Введение	1	0	1	0	0	0	1
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	1	0	1	0	1	0	2
3.	Кинетика химических реакций	2	0	2	0	1	0	3
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	2	0	2	0	1	0	3
5.	Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	2	0	2	0	1	0	3
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора	2	0	2	0	1	0	3
7.	Гидродинамическа и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	2	0	2	0	1	0	3
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	2	0	2	0	1	0	3
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	2	0	2	0	1	0	3
10.	Моделирование промышленных реакторов	2	0	2	0	1	0	3

Примечания:

Л – лекции, ПЗ – практические занятия, С – семинары, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа.

2.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) и видам работ

Содержание лекционного курса

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание лекционного курса
1.	Введение	Общие сведения о химических реакторах. Основные типы конструкций химических реакторов. Важнейшие понятия и термины каталитических процессов. Обзор математических

		моделей химических реакторов. Уравнение материального баланса химического реактора. Классификация химических реакторов и режимов их работы.
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	Метод наименьших квадратов: предпосылки и численная реализация. Значимость регрессионных коэффициентов и достоверность регрессионной зависимости. Определение эмпирических зависимостей между параметрами каталитического процесса.
3.	Кинетика химических реакций	Закономерности протекания химических реакций во времени. Определение кинетического уравнения. Учет диффузионных и адсорбционных процессов в кинетических уравнениях. Учет влияния температуры на скорость химических реакций. Механизмы химических превращений и порядок реакции.
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	Методы поиска решения систем нелинейных и деференциальных уравнений. Математическая модель реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения. Особенности программной реализации моделей идеальных реакторов.
5.	Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	Гидродинамика потока. Поля скоростей реактантов в реакторах при ламинарном и турбулентном режимах течения. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора	Роль тейлоровской диффузии при переносе тепла и массы в потоках со значительным градиентом скорости. Теплопроводность в системах: гранула-гранула, гранула-стенка, гранула-поток. Особенности теплопереноса в псевдоожиженном слое.
7.	Гидродинамическа и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	Перемешивание твердой и газообразной фаз. Коэффициент диффузии. Определение времени пребывания сырья в зоне реакции. Приемы, ликвидирующие недостатки псевдоожиженного слоя.
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	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 сырья, с внутренними или выносными теплообменниками. Реакторные системы в промышленных химических процессах. Каталитические мембранные реакторы. Реакторные системы для получения биотоплив. Микрореакторы. Устройство узла реактор-регенератор процесса каталитического крекинга. Устройство реакционной печи пиролиза. Противоточные абсорбционно-каталитические реакторы с движущимся слоем катализатора. Реакторы каталитического крекинга с псевдоожиженным слоем. Полифункциональные мембранные реакторы. Оптимизация энергозамкнутых каталитических процессов и примеры их реализации в промышленности
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	Определение устойчивости стационарного режима. Условия возникновения множественности стационарных состояний. Оценка способов организации работы реакторов, способствующих перемещению стационарных точек в фазовом пространстве.
10.	Моделирование промышленных реакторов	Продольное и поперечное перемешивание потока в реакторах с аксиальным и радиальным направлением потока. Математическая модель промышленного реактора со стационарным слоем. Настройка и проверка адекватности модели.

Содержание занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Тип	Содержание занятий семинарского типа
1.	Введение	ПЗ	Расчет процесса смешения потоков, селективности химических превращений и составов на выходе из реактора бензольного риформинга
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	ПЗ ЛР	Определение эмпирической зависимости между параметрами каталитического процесса риформинга, выходом стабильного риформата и октановым числом бензина
3.	Кинетика химических реакций	ПЗ ЛР	Определение константы скорости реакций по результатам эксперимента в реакторе проточного типа
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	ПЗ ЛР	Моделирование реактора идеального вытеснения. Определение оптимального объема реактора и оптимальной температуры на входе в реактор для проведения ряда химических реакций/ Моделирование реактора идеального смешения/
5.	Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	ПЗ ЛР	Расчет гидравлического сопротивления реактора со стационарным слоем катализатора/
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора	ПЗ ЛР	Расчет теплового эффекта реакций дегидрирования, изомеризации, крекинга и дегидроциклизации
7.	Гидродинамическа и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	ПЗ ЛР	Экспериментальное определение гидравлического сопротивления реактора псевдоожиженнго слоя и разработка модели реактора ПС
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	ПЗ ЛР	Разработка модели реактора риформинга бензина/ Оценка влияния режимных параметров реактора риформинга на выход и качество катализата/ Расчет теплового баланса промышленного реактора риформинга бензинов
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	ПЗ ЛР	Анализ устойчивости каталитической системы для реакции, идущей с значительным экзотермическим эффектом
10.	Моделирование промышленных реакторов	ПЗ ЛР	Моделирование и оптимизация реакторного блока процесса риформинга бензина/ Моделирование процесса изомеризации с рециклом непревращенных парафинов

Содержание самостоятельной работы

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание самостоятельной работы
1.	Введение	Классификация химических реакторов и режимов их работы.
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	Метод наименьших квадратов: предпосылки и численная реализация. Значимость регрессионных коэффициентов и достоверность регрессионной зависимости применительно к анализу каталитических систем
3.	Кинетика химических реакций	Учет диффузионных и адсорбционных процессов в кинетических уравнениях. Механизмы химических превращений и порядок реакции
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	Методы поиска решения систем нелинейных и деференциальных уравнений применительно к каталитической системе. Каскад реакторов идеального смешения. Реакторы переодического действия
5.	Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора	Теплопроводность в системах: гранулагранула, гранула-стенка, гранула-поток
7.	Гидродинамическа и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	Применение реакторов с псевдоожиженным слоем в процессах окисления диоксида серы и каталитического крекинга. Приѐмы, ликвидирующие недостатки псевдоожиженного слоя.
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в	Трубчатые реакторы, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей. Каталитические

	различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	мембранные реакторы. Реакторные системы для получения биотоплив. Микрореакторы.
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	Условия возникновения множественности стационарных состояний. Оценка способов организации работы реакторов, способствующих перемещению стационарных точек в фазовом пространстве.
10.	Моделирование промышленных реакторов	Разработка и оптимизация моделей химических реакторов в программе Aspen Hysys

3. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

По дисциплине (модулю) предусмотрены следующие виды контроля качества освоения:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине (модулю).

3.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые темы (разделы)	Наименование оценочного средства
1.	Введение	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
2.	Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
3.	Кинетика химических реакций	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
4.	Математические модели идеальных химических реакторов	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
5.	Гидродинамика процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
6.	Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
7.	Гидродинамическа и устройство реактора с псевдоожиженным слоем катализатора	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
8.	Конструкция и устройство каталитических реакторов в различных процессах химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
9.	Устойчивость каталитических реакторов к температурным и концентрационным возмущениям	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа
10.	Моделирование промышленных реакторов	Устный опрос. Доклад. Контрольная работа

3.1.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в процессе текущего контроля успеваемости

Устный опрос

1. Скорость стадии химической реакции. Выражение скорости химических реакций компонентов через скорость стадии
2. Ключевые компоненты химической реакции. Матрица стехиометрических коэффициентов. Определение числа ключевых компонентов.
3. Сложные системы кинетических уравнений. Размерность константы скорости. Радикально-цепные реакции
4. Основные типы и модели химических реакторов.
5. Особенности расчета РИВ и РИС
6. Основные цели и задачи проектного и поверочного расчета химических реакторов
7. Понятие интегральной функции времени пребывания частиц в объёме реактора. Понятие дифференциальной функции времени пребывания частиц в объёме реактора
8. Метод крупных частиц при расчёте реакторов. Распределение микрообъёмов реакционной смеси по времени пребывания в объёме реактора. Интегральный эффект протекания химической реакции в микрообъёмах

9. Тепловая устойчивость химических реакторов. Аналитическое и графическое представление
10. Провести расчет материального и теплового баланса химического реактора с заданной степенью превращения по ключевому компоненту
11. Провести расчет материального и теплового баланса химического реактора и определить необходимое время пребывания и объем реактора для достижения заданной степени превращения по ключевому компоненту
12. Провести оптимизацию работы химического реактора с целью достижения максимальной степени превращения по ключевому компоненту
13. Анализ системы кинетических уравнений химического реактора с использованием операционного исчисления.
14. Расчёт химического реактора по экспериментальным данным, полученным с использованием «трассера».
15. Проектирование химического реактора с использованием MS Excel
16. Анализ работы химического реактора с использованием MS Excel
17. Проектирование химического реактора с использованием программного обеспечения MathCad
18. Анализ работы химического реактора, работающего в изотермическом и адиабатном режимах, с использованием программного обеспечения MathCad

Информационный проект (доклад)

1. Особенности использования контактных аппаратов для получения целевых продуктов в органическом и неорганическом синтезе.
2. Новые конструкционные материалы для химических промышленных реакторов.
3. Критерии выбора реакторов с мешалками для проведения периодических процессов.
4. Трубчатые реакторы – достоинства и недостатки использования их для проведения непрерывных процессов.
5. Реакторы для систем с фазовыми превращениями (на конкретном примере).
6. Термодинамическое исследование электролиза раствора хлорида натрия в различных электролизерах.
7. Применение мембранных модулей для очистки сточных вод различного состава.
8. Анализ циклической колоночной хроматографии.
9. Ионообменная адсорбция в противоточных аппаратах различной конструкции.
10. Промышленные химические реакторы, используемые в синтезе метилового и этилового спиртов.
11. Применение реакторов с псевдоожиженным слоем в производстве неорганических веществ.
12. Химические реакторы каталитического риформинга производства ароматических углеводородов.
13. Использование каталитических процессов и реакторов в химической технологии неорганических веществ
14. Использование шахтных и подовых печей в химической технологии
15. Химические процессы в каскаде реакторов
16. Теплоперенос в химических реакторах

Контрольный работа

1. Охарактеризуйте процессы в химическом реакторе по масштабу их протекания: химическая реакция, химический процесс в элементарном объеме, процессы в реакционном элементе и в реакторе в целом.
2. Охарактеризуйте показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективности, скорости реакции и превращения реагентов.
3. Приведите структуру гетерогенного (некаталитического) химического процесса и его составляющие (стадии).

4. Перечислите основные способы интенсификации гомогенного химического процесса. Приведите примеры
5. Постройте математическую модель процесса в реакторе идеального смешения как системы уравнений материального и теплового балансов на основе данных о структуре потока, химических превращениях, явлениях переноса тепла и вещества и их взаимодействия.
6. Сравните эффективность работы реакторов, описываемых различными моделями – идеального смешения и вытеснения.

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Устный ответ

Оценка знаний предполагает дифференцированный подход к обучающемуся, учет его индивидуальных способностей, степень усвоения и систематизации основных понятий и категорий по дисциплине. Кроме того, оценивается не только глубина знаний поставленных вопросов, но и умение использовать в ответе практический материал. Оценивается культура речи, владение навыками ораторского искусства.

Критерии оценивания: последовательность, полнота, логичность изложения, анализ различных точек зрения, самостоятельное обобщение материала, использование профессиональных терминов, культура речи, навыки ораторского искусства. Изложение материала без фактических ошибок.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда материал излагается исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно, при этом раскрываются не только основные понятия, но и анализируются точки зрения различных авторов. Обучающийся не затрудняется с ответом, соблюдает культуру речи.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, знает практическую базу, но при ответе на вопрос допускает несущественные погрешности.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся освоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала, затрудняется с ответами, показывает отсутствие должной связи между анализом, аргументацией и выводами.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не отвечает на поставленные вопросы.

Информационный проект (доклад с презентацией)

Информационный проект – проект, направленный на стимулирование учебно-познавательной деятельности студента с выраженной эвристической направленностью (поиск, отбор и систематизация информации об объекте, оформление ее для презентации).

Информационный проект отличается от исследовательского проекта, поскольку представляет собой такую форму учебно-познавательной деятельности, которая отличается ярко выраженной эвристической направленностью.

Критерии оценивания - при выставлении оценки учитывается самостоятельный поиск, отбор и систематизация информации, раскрытие вопроса (проблемы), ознакомление студенческой аудитории с этой информацией (представление информации), ее анализ и обобщение, оформление, полные ответы на вопросы аудитории с примерами.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда обучающийся полностью раскрывает вопрос (проблему), представляет информацию систематизировано, последовательно, логично, взаимосвязано, использует более 5 профессиональных терминов, широко использует информационные технологии, ошибки в информации отсутствуют, дает полные ответы на вопросы аудитории с примерами.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся раскрывает вопрос (проблему), представляет информацию систематизировано, последовательно, логично, взаимосвязано,

использует более 2 профессиональных терминов, достаточно использует информационные технологии, допускает не более 2 ошибок в изложении материала, дает полные или частично полные ответы на вопросы аудитории.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся, раскрывает вопрос (проблему) не полностью, представляет информацию не систематизировано и не совсем последовательно, использует 1-2 профессиональных термина, использует информационные технологии, допускает 3-4 ошибки в изложении материала, отвечает только на элементарные вопросы аудитории без пояснений.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если вопрос не раскрыт, представленная информация логически не связана, не используются профессиональные термины, допускает более 4 ошибок в изложении материала, не отвечает на вопросы аудитории.

Контрольная работа

Оценивается не только глубина знаний поставленных вопросов, но и умение изложить письменно.

Критерии оценивания: последовательность, полнота, логичность изложения, анализ различных точек зрения, самостоятельное обобщение материала. Изложение материала без фактических ошибок.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда соблюдены все критерии.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, знает практическую базу, но допускает несущественные погрешности.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся освоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала, затрудняется с ответами, показывает отсутствие должной связи между анализом, аргументацией и выводами.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не отвечает на поставленные вопросы.

3.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

3.2.1. Критерии оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Шкала оценивания	Результаты обучения	Показатели оценивания результатов обучения
ОТЛИЧНО	Знает:	- обучающийся глубоко и всесторонне усвоил материал, уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - на основе системных научных знаний делает квалифицированные выводы и обобщения, свободно оперирует категориями и понятиями.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, используя научные понятия, ссылаясь на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся владеет рациональными методами (с использованием рациональных методик) решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал навыки - выделения главного, - связкой теоретических положений с требованиями руководящих документов, - изложения мыслей в логической последовательности, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
ХОРОШО	Знает:	- обучающийся твердо усвоил материал, достаточно грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений, оперирует категориями и понятиями, но не всегда правильно их верифицирует.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и в основном правильно решать

		учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, не в полной мере используя научные понятия и ссылки на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся в целом владеет рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении смог продемонстрировать достаточность, но не глубинность навыков, - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
УДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся ориентируется в материале, однако затрудняется в его изложении; - показывает недостаточность знаний основной и дополнительной литературы; - слабо аргументирует научные положения; - практически не способен сформулировать выводы и обобщения; - частично владеет системой понятий.
	Умеет:	- обучающийся в основном умеет решить учебно-профессиональную задачу или задание, но допускает ошибки, слабо аргументирует свое решение, недостаточно использует научные понятия и руководящие документы.
	Владеет:	- обучающийся владеет некоторыми рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал недостаточность навыков - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
НЕУДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся не усвоил значительной части материала; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует квалифицированных выводов и обобщений; - не владеет системой понятий.
	Умеет:	обучающийся не показал умение решать учебно-профессиональную задачу или задание.
	Владеет:	не выполнены требования, предъявляемые к навыкам, оцениваемым «удовлетворительно».

3.2.2. Контрольные задания и/или иные материалы для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов для устных ответов (варианты теста)

1. Основные типы конструкций химических реакторов.
2. Виды математических моделей химических реакторов.
3. Классификация химических реакторов и режимов их работы.
4. Статистические модели химических реакторов и регрессионный анализ.
5. Кинетика химических реакций. Определение кинетического уравнения.
6. Механизмы химических превращений и порядок реакции.
7. Особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений.
8. Методы определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента
9. Математические модели идеальных химических реакторов
10. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.

11. Процессы тепло- и массопереноса в стационарном слое катализатора. Особенности теплопереноса в псевдоожиженном слое.
12. Перемешивание твердой и газообразной фаз. Коэффициент диффузии.
13. Определение времени пребывания сырья в зоне реакции.
14. Химические факторы, влияющие на выбор реактора.
15. Определение устойчивости стационарного режима.
16. Продольное и поперечное перемешивание потока в реакторах с аксиальным и радиальным направлением потока
17. Уравнение теплового баланса.
18. Тепловые режимы химических реакторов.
19. Оптимальный температурный режим и способы его осуществления в промышленных реакторах.
20. Реакторы трубчатого типа, охлаждаемые водой, органическими теплоносителями или расплавами солей.
21. Автотермические реакторы с объемным или каталитическим зажиганием сырья.
22. Зависимость скорости тепловыделения от температуры для реактора полного перемешивания.
23. Зависимость скорости теплоотвода для реактора с охлаждением.
24. Уравнение материального баланса для элементарного объема проточного химического реактора.
25. Зависимость гидравлического сопротивления потока для аппаратов неподвижного и псевдоожиженного слоя от диаметра зерна и скорости газа.
26. Перемешивание твердой и газообразной фаз в псевдоожиженном слое.
27. Способы, приближающие аппараты псевдоожижения к аппаратам полного вытеснения.
28. Назначение, области применения и принцип работы реакторов трехфазного кипящего слоя.
29. Влияние степени превращения на соотношение объемов катализатора для псевдоожиженного и неподвижного слоев в реакторе.
30. Преимущества применения псевдоожиженного слоя в реакторах по сравнению с неподвижным слоем.
31. Недостатки способа псевдоожижения.
32. Экспериментальное изучение функции распределения.
33. Функции распределения времени пребывания идеальных и неидеальных проточных реакторов.
34. Применение функций распределения времени пребывания при расчете химических реакторов
35. Механизмы химических превращений и порядок реакции.
36. Распределение времени пребывания в проточных реакторах.
37. Функция распределения времени пребывания.
38. Проточный реактор идеального смешения в изотермическом режиме.
39. Периодический реактор идеального смешения в неизотермическом режиме.
40. Реактор идеального вытеснения в неизотермическом режиме.
41. Необходимые требования к методике эксперимента для получения адекватных результатов.
42. Особенности масштабирования результатов экспериментальных исследований химических превращений.
43. Анализ экспериментальных данных с целью изучения химических превращений
44. Методы определения констант скорости реакций различных порядков по результатам кинетического эксперимента
45. Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора.

46. Продольное и поперечное перемешивание в реакторах со стационарным слоем катализатора.
47. Градиент температуры поперек потока и его зависимость от эффективного коэффициента теплопроводности слоя катализатора.
48. Зависимость скорости экзотермической реакции от эффективного коэффициента теплопроводности в реакторе неподвижного слоя.
49. Продольная и поперечная диффузия в реакторах с неподвижным слоем.
50. Моделирование химических реакторов и протекающих в них химических процессов.
51. Классификация химических реакторов и режимов их работы.
52. Структура математической модели химического реактора
53. Основные типы двухфазных каталитических реакторов со стационарным слоем катализатора.
54. Реактор идеального вытеснения. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения.
55. Химические реакторы с идеальной структурой потока в изотермическом режиме. Реактор идеального смешения.
56. Каскад реакторов идеального смешения.
57. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.
58. Определение времени реакции в аппаратах полного вытеснения и полного перемешивания.
59. Причины отклонений от идеальности в проточных реакторах.
60. Химические реакторы с неидеальной структурой потоков.
61. Промышленные химические реакторы.
62. Реакторы для гомогенных процессов.
63. Реакторы для гетерогенных процессов с твердой фазой.
64. Реакторы для газожидкостных процессов.
65. Реакторы для гетерогенных каталитических процессов.
66. Устойчивость работы реактора при наличии случайных возмущений параметров.
67. Определение устойчивости стационарного режима работы реактора.
68. Тепловая устойчивость химических реакторов.
69. Решение систем линейных уравнений методом Гаусса.
70. Решение систем линейных уравнений методом ортогонализации.
71. Решение систем нелинейных уравнений методом простой итерации.
72. Решение систем нелинейных уравнений методом Ньютона - Рафсона.
73. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера, устойчивость, сходимость, точность.
74. Выбор шага по времени для явной разностной схемы, физический смысл критерия устойчивости.
75. Метод наименьших квадратов: предпосылки и реализация.
76. Множественная регрессия, сводный коэффициент корреляции.
77. Проверка значимости регрессионных коэффициентов.
78. Оценка достоверности регрессионной зависимости.

Тексты проблемно-аналитических и (или) практических учебно-профессиональных задач

3.2.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков в ходе промежуточной аттестации

Процедура оценивания знаний (тест)

Предлагаемое количество заданий	20
Последовательность выборки	Определена по разделам
Критерии оценки	- правильный ответ на вопрос
«5» если	правильно выполнено 90-100% тестовых заданий
«4» если	правильно выполнено 70-89% тестовых заданий

«3» если	правильно выполнено 50-69% тестовых заданий

Процедура оценивания знаний (устный ответ)

Предел длительности	10 минут
Предлагаемое количество заданий	2 вопроса
Последовательность выборки вопросов из каждого раздела	Случайная
Критерии оценки	- требуемый объем и структура - изложение материала без фактических ошибок - логика изложения - использование соответствующей терминологии - стиль речи и культура речи - подбор примеров их научной литературы и практики
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов
«3» если	требования выполнены частично – не выдержан объем, есть фактические ошибки, нарушена логика изложения, недостаточно используется соответствующая терминологии

Процедура оценивания умений и навыков (решение проблемно-аналитических и практических учебно-профессиональных задач)

Предлагаемое количество заданий	1
Последовательность выборки	Случайная
Критерии оценки:	- выделение и понимание проблемы - умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения - полнота использования источников - наличие авторской позиции - соответствие ответа поставленному вопросу - использование социального опыта, материалов СМИ, статистических данных - логичность изложения - умение сделать квалифицированные выводы и обобщения с точки зрения решения профессиональных задач - умение привести пример - опора на теоретические положения - владение соответствующей терминологией
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов. Затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений
«3» если	требования выполнены частично – пытается обосновать свою точку зрения, однако слабо аргументирует научные положения, практически не способен самостоятельно сформулировать выводы и обобщения, не видит связь с профессиональной деятельностью

4. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1. Электронные учебные издания

1. Корытцева, А. К. Химические реакторы. Введение в теорию и практику : учебное пособие / А. К. Корытцева, В. И. Петьков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-3501-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/206207. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.2. Электронные образовательные ресурсы

1. Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт») [Электронный ресурс]. – URL: https://urait.ru/.
2. Электронно-библиотечная система ZNANIUM [Электронный ресурс]. – URL: https://znanium.com/.

3. Электронная библиотечная система «Консультант студента» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.studentlibrary.ru/.
4. e-Library.ru: Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – URL: http://elibrary.ru/.
5. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. – URL: http://cyberleninka.ru/.
6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/.
7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: http://fcior.edu.ru/.

4.3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к ниже следующим современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам:

1. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru.
2. Система информационно-правового обеспечения «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: http://ivo.garant.ru/.

4.4. Комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Лицензионное программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных приложений Microsoft Office.
2. Свободно распространяемое программное обеспечение: свободные пакеты офисных приложений Apache Open Office, LibreOffice.
3. Программное обеспечение отечественного производства: справочно-правовая система «Гарант» (Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»), образовательная платформа ЮРАЙТ (Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт»)), электронно-библиотечная система ZNANIUM, электронная библиотечная система «Консультант студента».

4.5. Оборудование и технические средства обучения

Для реализации дисциплины (модуля) используются учебные аудитории для проведения учебных занятий, которые оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, и помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева. Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

Наименование учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы*	**Оснащенность учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы оборудованием и техническими средствами обучения**
Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная аудитория укомплектована специализированной мебелью, отвечающей всем установленным нормам и требованиям, оборудованием и техническими средствами обучения (мобильное мультимедийное оборудование).
Помещение для самостоятельной работы	Помещение оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева и к ЭБС.

* Номер конкретной аудитории указан в приказе об аудиторном фонде, расписании учебных занятий и расписании промежуточной аттестации.