



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»


УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов
20.02.2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

Направление подготовки (специальность)
18.03.01 Химическая технология

Направленность (профиль/специализация) программы
Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Уровень высшего образования - бакалавриат
Программа подготовки - академический бакалавриат

Форма обучения
заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	4
Семестр	

Магнитогорск
2019 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 11.08.2016 г. № 1005)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий
18.02.2020, протокол № 6

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
20.02.2020 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиХТ, канд. хим. наук  С.А. Крылова

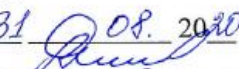
Рецензент:

ведущий специалист НГЦ ГАДП ПАО ММК, канд. техн. наук

 Е.Н. Степанов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2020 - 2021 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от 31 08. 2020 г. № 1
Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

получение студентами знаний по теоретическим основам химических реакторов и протекающих в них процессах, а также практических умений и навыков при рассмотрении типовых конструкций химических реакторов, составлении математического описания протекающих в них процессов, анализе практических результатов расчёта реакторов.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Химические реакторы входит в базовую часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

- Физика
- Общая и неорганическая химия
- Математика
- Физическая химия
- Общая химическая технология
- Коллоидная химия
- Общая химическая технология

Массообменные процессы химической технологии

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

- Учебно-исследовательская работа студента
- Системы управления химико-технологическими процессами
- Моделирование химико-технологических процессов
- Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Химические реакторы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
Знать	<input type="checkbox"/> теоретические основы химии, свойства физико-химических систем, положенных в основу химического производства <input type="checkbox"/> основные законы естественнонаучных дисциплин в процессах химической переработки для понимания технологии производства.
Уметь	использовать законы естественнонаучных дисциплин для разработки технологий ХТП проводить лабораторные испытания.

Владеть	<input type="checkbox"/> навыками определения комплекса свойств физико-химических систем, положенных в основу химического производства, <input type="checkbox"/> навыками обработки и анализа данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, интерпретации полученных результатов
ПК-11 способностью выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса	
Знать	<input type="checkbox"/> основные показатели эффективности работы реакторов и ХТП <input type="checkbox"/> основы теории процесса в химическом реакторе <input type="checkbox"/> методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, <input type="checkbox"/> типы химических реакторов и требования к ним, <input type="checkbox"/> способы регулирования технологических показателей химико-технологических процессов <input type="checkbox"/> принципы выбора реактора и расчета процесса в нем;
Уметь	<input type="checkbox"/> Рассчитывать основные характеристики химического процесса с использованием справочных данных; <input type="checkbox"/> произвести выбор типа реактора и расчет технологических параметров для заданного процесса; <input type="checkbox"/> оценивать технологическую эффективность ХТП и работы реактора; <input type="checkbox"/> определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе; <input type="checkbox"/> обосновывать принятие конкретного технологического решения при организации эффективной работы реактора;
Владеть	<input type="checkbox"/> навыками основных химико-технологических расчетов <input type="checkbox"/> навыками расчета и анализа процессов в химических реакторах; <input type="checkbox"/> навыками выбора химических реакторов. <input type="checkbox"/> анализа эффективности работы химических реакторов

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 12,9 акад. часов;
- аудиторная – 10 акад. часов;
- внеаудиторная – 2,9 акад. часов
- самостоятельная работа – 122,4 акад. часов;
- подготовка к экзамену – 8,7 акад. часа

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Введение								
1.1 Показатели эффективности работы реакторов и ХТП. Классификация реакторов и режимов их	4	0,5			5	Работа с конспектом	Конспект	ОПК-1, ПК-11
Итого по разделу		0,5			5			
2. Математическое моделирование химических процессов и реакторов								
2.1 Модель реактора идеального смешения периодического действия.	4	0,25			9	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
2.2 Модель реактора идеального смешения непрерывного действия		0,25			9	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
2.3 Модель реактора идеального вытеснения непрерывного действия					9,4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
Итого по разделу		0,5			27,4			
3. Изотермический гомогенный процесс в								

3.1 Анализ процесса в химическом реакторе.	4	0,5		2/1,5И	15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
3.2 Сравнение эффективности работы изотермических реакторов. Каскад реакторов идеального смешения		0,5		2/1,5И	15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
Итого по разделу		1		4/3И	30			
4. Гетерогенный процесс в химическом реакторе								
4.1 Режим и лимитирующие стадии процесса. Общие принципы управления скоростью гетерогенного процесса.	4	0,5		1/0,5И	15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
4.2 Система «газ (жидкость) – твердое (не полностью реагирующее)». Система «газ (жидкость) - твердое (полностью реагирующее)».		0,5		1/0,5И	15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
Итого по разделу		1		2/1И	30			
5. Неизотермический процесс в химическом реакторе.								
5.1 Режимы идеального смешения периодический и идеального вытеснения с теплообменом	4	0,5			15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
5.2 Температурный режим в проточном реакторе идеального смешения. Сопоставление адиабатического процесса в проточных режимах идеального смешения и вытеснения		0,5			15	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение домашней контрольной работы	Домашняя контрольная работа Экзамен	ОПК-1, ПК-11
Итого по разделу		1			30			
Итого за семестр		4		6/4И	122,4		экзамен	
Итого по дисциплине		4		6/4И	122,4		экзамен	ОПК-1, ПК-11

5 Образовательные технологии

Проектирование обучения строится на основе следующих принципов:

- Обучение на основе интеграции с наукой и производством.
- Профессионально-творческая направленность обучения.
- Ориентированность обучения на личность.
- Ориентированность обучения на развитие опыта самообразовательной деятельности будущего специалиста.

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Химические реакторы» используются различные образовательные технологии:

1. Традиционные образовательные технологии: информационная лекция и практические занятия.

2. Информационно-коммуникационные образовательные технологии: лекция-визуализация. Практическое занятие в форме презентации – представление результатов с использованием специализированных программных сред.

3. Информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими. При самостоятельном изучении литературы применение современных информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.

4. Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при разборе конкретных ситуаций, основанных на практических примерах, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность.

5. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения.

6. Интерактивные технологии: коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе. Изложение проблем и их совместное решение.

7. Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Игнатенков, В. И. Общая химическая технология: теория, примеры, задачи : учебное пособие для академического бакалавриата / В. И. Игнатенков. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 195 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-09222-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/viewer/obschaya-himicheskaya-tehnologiya-teoriya-primery-zadachi-450986#page/1>

2. Смирнов, А. Н. Химические реакторы. Гомогенный изотермический процесс : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнито-горск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=70.pdf&show=dcatalogues/1/1130345/70.pdf&view=true> .

3. Смирнов, А. Н. Гетерогенные химические процессы : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=67.pdf&show=dcatalogues/1/1130046/67.pdf&view=true> .

б) Дополнительная литература:

1. Бочкарев, В. В. Оптимизация химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / В. В. Бочкарев. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 263 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00378-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/451320> .

2. Загкейм, А. Ю. Загкейм А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Ю. Загкейм. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Логос, 2012. - 304 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-497-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/468690> .

3. Смирнов, А. Н. Теоретические основы химико-технологических процессов : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3515.pdf&show=dcatalogues/1/1514321/3515.pdf&view=true> .

4. Смирнов, А. Н. Производство химических продуктов : учебное пособие. Ч. 1 / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3663.pdf&show=dcatalogues/1/1526324/3663.pdf&view=true> .

5. Крылова, С. А. Введение в анализ и синтез химико-технологических систем : учебное пособие / С. А. Крылова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=25.pdf&show=dcatalogues/1/1131464/25.pdf&view=true> .

в) Методические указания:

1. Смирнов, А. Н. Химические процессы в реакторах : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2016 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL:

<https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=69.pdf&show=dcatalogues/1/1139091/69.pdf&view=true> .

2. Теоретические основы химической технологии: учеб. пособие /А.Н. Смирнов, С.А. Крылова, В.И. Сысоев. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. 61 с. - Текст :непосредственный.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно	бессрочно
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебная аудитория для проведения практических занятий, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Доска, учебные столы, стулья

Учебные аудитории для самостоятельной работы обучающихся Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Стеллажи для хранения оборудования

Методическая литература для учебных занятий

Химическая посуда

Инструменты для ремонта и профилактического обслуживания учебного оборудования

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Вопросы для самостоятельного контроля знаний

Математическое моделирование химических процессов и реакторов

В чем заключается метод моделирования?

Сформулируйте основные требования, предъявляемые к математической модели химического реактора.

В чем заключается иерархический принцип моделирования химических процессов и реакторов?

Какие признаки могут быть положены в основу классификации химических реакторов?

Каковы различия в условиях перемешивания в проточных реакторах смешения и вытеснения?

Какой режим работы химического реактора называется стационарным? Возможен ли стационарный режим в периодическом реакторе? В полунепрерывном реакторе?

Назовите последовательность этапов при составлении математической модели процесса в реакционной зоне.

Каким условиям должен удовлетворять элементарный объем, для которого составляются балансовые уравнения?

Каким должен быть элементарный промежуток времени при составлении балансовых уравнений для реакторов, работающих в стационарном режиме? В нестационарном режиме?

Напишите уравнение материального баланса реактора в общем виде.

Почему именно балансовые уравнения (уравнения материального и энергетического балансов) составляют основу математической модели химического реактора?

Почему при стационарном режиме работы химического реактора в нем не происходит накопления вещества и теплоты?

Составьте математические модели для реакторов

РИС-п,

РИС- н,

РИВ

Изотермический процесс в химическом реакторе

Каковы основные типы химических реакторов, предъявляемые к ним требования, приведите примеры их использования в технологии важнейших химических продуктов.

В чем заключается подобие и различие процесса в реакторах ИС-п и ИВ ?

Что такое условное время реакции и чем оно отличается от времени пребывания в реакторе?

Как меняются концентрации исходного компонента и продукта по длине реактора ИВ? Каковы их предельные значения?

Как изменится степень превращения в реакторе при протекании реакции первого порядка при увеличении начальной концентрации в 1,5 раза? Ответ поясните.

Какое предельное превращение можно получить в реакторе ИС-п при протекании обратимой реакции? Подтвердите это с помощью математической модели и изобразите графически.

В реакторе ИС-п протекает обратимая реакция. Как изменится скорость превращения в начале процесса в результате увеличения температуры? Изменится ли предельное превращение, как и почему?

Получите мат.модель процесса в реакторе ИВ при протекании сложной реакции: а) с параллельной схемой превращения; б) последовательной схемой превращения. Покажите график изменения концентраций компонентов по длине реактора и объяснит, его вид (почему концентрации увеличиваются, уменьшаются, не меняются).

В реакторе ИВ протекает последовательная реакция. Какие рекомендации можно сделать, чтобы добиться: а) максимального выхода промежуточного продукта; б) максимально селективности по промежуточному продукту; в) максимального выхода конечного продукта?

Как меняется концентрация вещества по объему проточного реактора ИС ?

Почему производительность реактора в режиме ИВ больше, чем в режиме ИС при протекании простых реакций?

Может ли режим реактора оказывать влияние на селективность процесса при протекании сложной реакции? Ответ обоснуйте.

Назовите причины отклонения режимов в промышленных реакторах от ИС и ИВ?

5. Проанализируйте основные недостатки и достоинства реакторов периодического действия. В каких производствах чаще встречаются такие реакторы?

Гетерогенные процессы

Какие процессы относятся к гетерогенным? Перечислите стадии гетерогенного

процесса. Назовите области протекания гетерогенного процесса.

Как подразделяются гетерогенные процессы по виду участвующих фаз?

В чем заключается многостадийность гетерогенного процесса? Чем отличаются условия гетерогенного процесса и условия протекающей в нем реакции?

Что такое наблюдаемая скорость гетерогенного процесса, от чего она зависит

Что такое лимитирующая стадия в гетерогенном процессе? Как лимитирующая стадия определяет режим процесса?

Чем отличается модель «сжимающаяся сфера» от модели «сжимающееся ядро»? Приведите примеры процессов.

Нарисуйте схему и объясните структуру процесса **«газ-твердое (полностью реагирующее)»**. Какие этапы процесса можно выделить? Напишите исходное уравнение мат. модели этого процесса.

Напишите уравнения для наблюдаемой скорости превращения (для реакции первого порядка) и времени полного превращения твердой частицы.

Нарисуйте графики и объясните, как меняется во времени размер частицы, степень превращения твердого реагента, скорость превращения частицы.

Как зависит наблюдаемая константа скорости превращения в процессе «сжимающаяся сфера» от температуры и скорости потока? Как эти зависимости связаны с режимом процесса?

Как можно интенсифицировать процесс «газ-твердое (полностью реагирующее)?

Нарисуйте схему и объясните структуру процесса **«газ-твердое (неполностью реагирующее)»**. Какие этапы процесса можно выделить? Напишите исходное уравнение мат. модели этого процесса.

Напишите уравнения для наблюдаемой скорости превращения и времени полного превращения твердой частицы для разных режимов процесса.

Нарисуйте графики и объясните, как меняется во времени размер частицы, степень превращения твердого реагента, скорость превращения частицы для процесса «сжимающееся ядро» в разных режимах.

Как можно интенсифицировать процесс «газ-твердое (неполностью реагирующее) в разных режимах его протекания?

Укажите способы определения области протекания процесса в системе «газ – твердое тело».

Приведите примеры технологических процессов «газ-жидкость» и способы организации взаимодействия газа с жидкостью.

Нарисуйте схему и объясните структуру процесса **«газ-жидкость»**. Какие этапы процесса можно выделить? Напишите исходное уравнение мат. модели этого процесса.

В чем различие структур процессов «газ-твердое» и «газ-жидкость»?

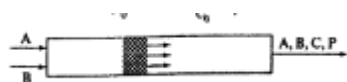
Напишите выражение для наблюдаемой скорости превращения. От каких условий и как зависит наблюдаемая скорость превращения в разных режимах?

С чем связано возможное уменьшение скорости превращения при повышении температуры?

Как можно интенсифицировать процесс «газ-жидкость»?

Примеры тестовых заданий

1. Что изображено на рисунке?

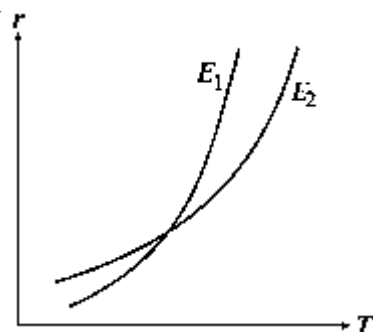


- a) реактор идеального смешения;
- b) реактор идеального вытеснения;
- c) адиабатический реактор.

2. В каких случаях оправдано проведение реакции при избытке одного из компонентов?

- a) если реакция обратимая, один из компонентов (более дешёвый или более доступный) берется в избытке для повышения степени превращения другого (более ценного) компонента;
- b) избыток одного из компонентов не оправдан, так как для наилучшего протекания реакции необходимо брать компоненты в стехиометрических количествах;
- c) избыток одного из компонентов уместен в случае, когда другой компонент ядовит или когда продукты реакции повышенно токсичны;
- d) когда один из компонентов токсичен или когда продукты реакции ядовиты, реагенты следует брать строго в стехиометрических количествах.

3. На графике приведены зависимости скорости простых необратимых реакций от температуры с разными энергиями активации E_1 и E_2 . Какое соотношение между E_1 и E_2 ?



- a) $E_1 > E_2$;
- b) $E_1 < E_2$;
- c) $E_1 \approx E_2$.

Примеры расчетных заданий по темам:

Пример 1. Рассчитать среднее время пребывания реагентов в проточном реакторе идеального смешения, необходимое для достижения степени превращения исходного реагента $x_{A,f} = 0,8$.

В реакторе протекает реакция второго порядка $2A \rightarrow R + S$, скорость которой описывается при постоянной температуре кинетическим уравнением $\omega_{r,A} = 2,5 c_A^2$. Начальная концентрация реагента A на входе в реактор $c_{A,0} = 4 \text{ кмоль/м}^3$.

Решение. Для определения $\bar{\tau}$ можно использовать уравнение (12); концентрацию реагента в реакторе, необходимую для расчета скорости протекающей в нем реакции, выразим через степень превращения

$$\bar{\tau} = \frac{c_{A,0} \cdot x_{A,f}}{\omega_{r,A}} = \frac{c_{A,0} \cdot x_{A,f}}{k c_{A,f}^2} = \frac{c_{A,0} \cdot x_{A,f}}{k c_{A,0}^2 (1 - x_{A,f})^2} = \frac{0,8}{2,5 \cdot 4 \cdot (1 - 0,8)^2} = 24.$$

Таким образом, для достижения степени превращения $x_A = 0,8$ необходимо, чтобы соотношение между объемом реактора и объемным расходом через него составляло $\bar{\tau} = V/v = 2 \text{ ч}$.

Пример 2.

Определить производительность 1 м³ катализатора синтеза аммиака при следующих условиях: концентрация аммиака в конечном газе (на выходе из реактора) $S_{\text{кон}} = 26,5\%$ (об), в начальном газе (на входе в реактор) $S_{\text{нач}} = 2,7\%$ (об), объемная скорость газа $V_{\text{об}} = 45000 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$ катализатора.

Решение.

Синтез аммиака основан на экзотермической обратимой реакции, идущей с уменьшением объема



Реакция синтеза аммиака требует большой энергии активации. Процесс ведут в промышленности в присутствии катализатора при высоком давлении, повышающем равновесную степень превращения, и при высокой температуре, обеспечивающей достаточно большую скорость процесса, но в известной мере смещающей равновесие в сторону исходных продуктов. Катализатором синтеза аммиака служит железо с активаторами K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO . Однако в оптимальных условиях проведения процесса

фактический выход аммиака невелик ($X = 18-22\%$) поэтому процесс ведут по циклической схеме.

В колонну синтеза подается циркуляционный газ, содержащий несконденсировавшийся в холодильнике аммиака и свежая азото-водородная смесь, в количестве, компенсирующем полученный продукт и потери. Выход аммиака x отвечает содержанию его в азото-водородная смеси, выходящей из реактора. В нашем случае

$$x = S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}}/100 + S_{\text{кон}} = 26.5 - 2.7/102.7 = 23.2\%(\text{об.}) \text{ или } 0.232 \text{ мол. доли } \text{NH}_3.$$

Производительность катализатора в колонне синтеза аммиака при данном давлении и составе азото-водородная смеси определяют по формуле

$$P = 0.771 \cdot x \cdot V_{\text{об}} \cdot \beta$$

Здесь 0.771 – масса 1 м³ NH₃; β – коэффициент, характеризующий уменьшение объема газа в результате реакции синтеза аммиака, определяемый по формуле:

$$\beta = 100 + S_{\text{нач}}/100 + S_{\text{кон}} = 100 + 2.7/100 + 26.5 = 0.81$$

$$P = 0.771 \cdot 0.232 \cdot 45000 \cdot 0.81 = 6500 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3 \text{ катализатора}).$$

Пример 3

В реакторе протекает реакция второго порядка $2A \rightarrow R+S$, скорость которой описывается при постоянной температуре кинетическим уравнением $\omega_{r,A} = 2,5 c_A^2$.

Начальная концентрация реагента A на входе в реактор $c_{A,0} = 4 \text{ кмоль}/\text{м}^3$, степень превращения исходного реагента $x_{A,f} = 0,8$, проводят в каскаде реакторов идеального смешения. Все секции каскада имеют одинаковый объем, подобранный таким образом, что среднее время пребывания в каждой из них $\bar{\tau}_i$ равно 1/10 от среднего времени пребывания в единичном реакторе идеального смешения, рассчитанного в примере 1 ($\bar{\tau}_i = 0,2 \text{ ч}$). Определить, сколько таких секций потребуется для достижения заданной степени превращения.

Решение. Для решения используем графический метод. Для этого построим графики функции $\omega_{r,A} = 2,5 c_A^2$ (парабола) и

$$y = \frac{c_{A,i-0}}{\bar{\tau}_i} - \frac{1}{\bar{\tau}_i} c_A = \frac{4}{0,2} - \frac{1}{0,2} c_A$$

$$(\text{прямая с тангенсом угла наклона } tg \alpha = -\frac{1}{\bar{\tau}} = -0,5).$$

Точка пересечения этих линий M_1 (рис.) позволяет определить концентрацию на выходе из первой секции каскада. Проводя параллельные прямые

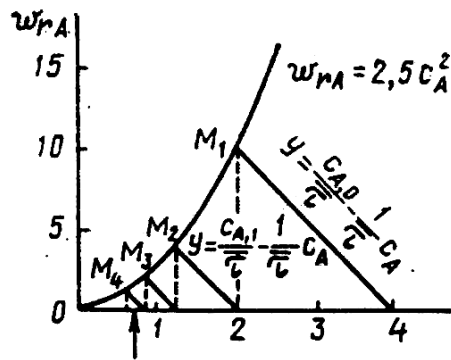


Рисунок . Графическое определение числа секций каскада реакторов идеального смешения

$$y = \frac{c_{A,i-1}}{\bar{\tau}_i} - \frac{1}{\bar{\tau}_i} c_{A,f}$$

до тех пор, пока не будет выполнено условие $c_{A,i} \leq 0,8 \text{ кмоль/м}^3$ (так как $c_{A,f} = c_{A,0}(1 - x_{A,f}) = 4 \cdot (1 - 0,2) = 0,8 \text{ кмоль/м}^3$), получаем, что для достижения указанной степени превращения необходимо 4 секции. При этом оказывается, что на выходе из четвертой секции степень превращения даже выше, чем задана по условию, но в трех секциях заданная степень превращения не достигается.

Таким образом, суммарное среднее время пребывания реагентов в каскаде реакторов идеального смешения для условий примера составляет $\tau_{\Sigma, \text{каск}} = 4 \cdot \bar{\tau}_i = 0,8 \text{ ч}$.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	ПК-11	способностью выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные показатели эффективности работы реакторов и ХТП – основы теории процесса в химическом реакторе – методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса на всех масштабных уровнях, – типы химических реакторов и требования к ним, – способы регулирования технологических показателей химико-технологических процессов – принципы выбора реактора и расчета процесса в нем; 	<p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие химического реактора. Основные показатели работы химических реакторов. Виды химических реакторов. Структурные элементы химического реактора. Нарисуйте схемы нескольких реакторов. Покажите на одном из них структурные элементы. 2. Математическое моделирование как метод исследования химических реакторов. 3. Классификация процессов в химическом реакторе по организации материальных и Иерархическая структура мат. модели процесса в химическом реакторе тепловых потоков. Напишите в общем виде основные балансовые уравнения процесса в реакторе. 4. Режим (модель) идеального смешения периодический (ИС-п). Уравнения, описывающие его. Схема реактора. 5. Режим (модель) идеального смешения непрерывный (ИС-н). Уравнения, описывающие его. Схема реактора. 6. Режим (модель) идеального вытеснения (ИВ). Уравнения, описывающие его. Схема реактора. 7. Режим идеального смешения периодический (ИС-п) и идеального вытеснения (ИВ). Подобие и различие процессов в этих реакторах.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>8. Анализ модели изотермических процессов <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-н</i> с протеканием простых необратимых реакций $A \rightarrow B$ разного порядка. Характеристическое уравнение для τ. Зависимости $C(\tau)$ и $x(\tau)$. Влияние концентрации исходного вещества, температуры на изменение функции $x(\tau)$.</p> <p>9. Анализ модели изотермических процессов <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-н</i> с протеканием простой обратимой реакции (<i>первого порядка</i>). Характеристическое уравнение для τ. Зависимость $x(\tau)$. Влияние концентрации исходного вещества на изменение функции $x(\tau)$. Влияние температуры на скорость и интенсивность процесса в случае экзо- и эндотермических реакций.</p> <p>10. Анализ модели изотермических процессов <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-н</i> с протеканием сложной реакции с параллельной схемой превращения. Характеристическое уравнение для τ. Зависимости $C_A(\tau)$, $x_A(\tau)$, $C_R(\tau)$, $C_S(\tau)$. Влияние температуры на интенсивность и селективность процесса. Зависимость селективности от порядка реакций.</p> <p>11. Анализ модели изотермических процессов в реакторе <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-н</i> с протеканием сложной реакции с последовательной схемой превращения. Характеристическое уравнение для τ. Зависимости $C_A(\tau)$, $x_A(\tau)$, $C_R(\tau)$, $C_S(\tau)$. Максимальный выход продукта R (C_R^{max}). Влияние температуры на интенсивность, C_R^{max} и селективность процесса.</p> <p>12. Анализ модели изотермических процессов в реакторе <i>ИС-н</i> с протеканием реакций с различными схемами превращения. Характеристические уравнения для τ. Зависимости $C_A(\tau)$, $x_A(\tau)$, $C_R(\tau)$, $C_S(\tau)$.</p> <p>13. Сравнение эффективности проточных реакторов идеального смешения и идеального вытеснения (по интенсивности и селективности).</p> <p>14. Неизотермический процесс в химическом реакторе. Организация теплообмена в реакторе и температурные режимы.</p> <p>15. Режимы идеального смешения периодический (<i>ИС-п</i>) и идеального вытеснения (<i>ИВ</i>) с теплообменом. Сравнение адиабатического процесса с изотермическим.</p> <p>16. Температурный режим в проточном реакторе идеального смешения.</p> <p>17. Сравнение адиабатического процесса в проточных режимах идеального смешения и</p>

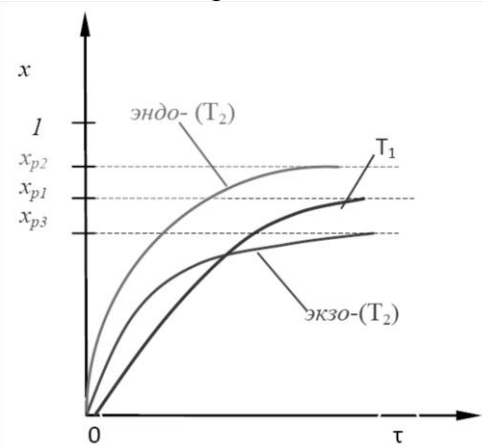
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>вытеснения.</p> <p>18. Автотермический реактор.</p> <p>19. Гетерогенный химический процесс. Классификация гетерогенных процессов по виду участвующих фаз. В чем заключается многостадийность гетерогенного процесса? Чем отличаются условия гетерогенного процесса и условия протекающей в нем реакции?</p> <p>20. Наблюдаемая скорость гетерогенного процесса, от чего она зависит? Лимитирующая стадия в гетерогенном процессе. Как лимитирующая стадия определяет режим процесса?</p> <p>21. Процесс «газ-твердое (полностью реагирующее)». Схема процесса и его структура. Зависимости во времени размера частицы, степени превращения твердого реагента, скорости превращения частицы.</p> <p>22. Лимитирующие стадии и режимы процесса «сжимающаяся сфера». Как зависит наблюдаемая константа скорости превращения в процессе «сжимающаяся сфера» от температуры и скорости потока? Как эти зависимости связаны с режимом процесса? Способы интенсификации процесса.</p> <p>23. Процесс «газ-твердое (неполностью реагирующее)». Схема процесса и его структура. Как меняется во времени размер частицы, степень превращения твердого реагента, скорость превращения частицы для процесса «сжимающееся ядро» в разных режимах?</p> <p>24. Способы интенсификации процесса «газ-твердое (неполностью реагирующее)» в разных режимах его протекания.</p> <p>25. Анализ процесса «газ-жидкость». Зависимость скорости превращения от концентрации компонентов и температуры. С чем связано возможное уменьшение скорости превращения при повышении температуры? Интенсификация процесса «газ-жидкость».</p>
Уметь	– Рассчитывать основные характеристики химического процесса с использованием справочных данных;	<p>Практические задания:</p> <p>Обжиг ZnS проводится в наклонном трубчатом реакторе. Частицы твердого вещества</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<ul style="list-style-type: none"> – произвести выбор типа реактора и расчет технологических параметров для заданного процесса; – оценивать технологическую эффективность ХТП и работы реактора; – определить параметры наилучшей организации процесса в химическом реакторе; – обосновывать принятие конкретного технологического решения при организации эффективной работы реактора; 	<p>двигутся со скоростью 11,5 см/с. Известно, что при данных условиях за 1 мин степень превращения ZnS составляет 65 %. Определить длину реактора, обеспечивающую 95% степень превращения исходного сырья, если обжиг проводится в кинетической области. При решении можно использовать справочные таблицы с формулами.</p> <p>Для процесса «газ-твердое (полностью реагирующее)» нарисуйте схему и объясните структуру. Какие этапы процесса можно выделить? Напишите исходное уравнение мат. модели этого процесса. Как меняется во времени размер частицы, степень превращения твердого реагента, скорость превращения частицы?</p> <p>Для процесса «газ-твердое (неполностью реагирующее)» нарисуйте схему и объясните структуру процесса. Какие этапы процесса можно выделить? Напишите исходное уравнение мат. модели этого процесса. Как меняется во времени размер частицы, степень превращения твердого реагента, скорость превращения частицы для процесса «сжимающееся ядро» в разных режимах?</p>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками основных химико-технологических расчетов – навыками расчета и анализа процессов в химических реакторах; – навыками выбора химических реакторов. – анализа эффективности работы химических реакторов 	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изобразите схему реактора ИС-п. Выведите уравнения, описывающие режим ИС-п. 2. Изобразите схему реактора ИС-н. Выведите уравнения, описывающие режим ИС-н. 3. Изобразите схему реактора ИВ. Выведите уравнения, описывающие режим ИВ. 4. Проведите анализ модели изотермических процессов <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-п</i> с протеканием простых необратимых реакций $A \rightarrow B$ разного порядка (характеристическое уравнение для τ, зависимости $C(\tau)$ и $x(\tau)$). Влияние концентрации исходного вещества, температуры на изменение функции $x(\tau)$. 5. Проведите анализ изотермических процессов <i>ИС-п</i> и <i>ИВ-п</i> с протеканием простой

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p><i>обратимой реакции первого порядка</i> (зависимость $x(\tau)$, влияние концентрации исходного вещества на изменение функции $x(\tau)$). Влияние температуры на скорость и интенсивность процесса в случае экзо- и эндотермических реакций).</p> <p>6. Проведите анализ изотермических процессов <i>ИС-н</i> и <i>ИБ-н</i> с протеканием сложной реакции с параллельной схемой превращения (зависимости $C_A(\tau)$, $x_A(\tau)$, $C_R(\tau)$, $C_S(\tau)$. Влияние температуры на интенсивность и селективность процесса).</p> <p>7. Проведите анализ изотермических процессов в реакторе <i>ИС-н</i> и <i>ИБ-н</i> с протеканием сложной реакции с последовательной схемой превращения (зависимости $C_A(\tau)$, $x_A(\tau)$, $C_R(\tau)$, $C_S(\tau)$. Максимальный выход продукта R (C_R^{max}). Влияние температуры на интенсивность, C_R^{max} и селективность процесса).</p> <p>8. Составьте кинетические уравнения сложных реакций по каждому из веществ, участвующих в реакции, протекающей по схеме</p> $A + B \xrightarrow{k_1} P + C$ $A + P \xrightarrow{k_2} C + D$ <p>9. Докажите, что модель каскада реакторов идеального смешения является промежуточной между моделями идеального вытеснения и идеального смешения.</p>
ОПК-1	способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	
Знать	– теоретические основы химии, свойства физико-химических систем, положенных в основу химического производства	Теоретические вопросы: Сформулировать законы сохранения массы и энергии Написать формулу Менделеева-Клапейрона, дать к ней пояснения; для выполнения

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства						
	– основные законы естественнонаучных дисциплин в процессах химической переработки для понимания технологии производства.	каких расчетов она используется? Сформулировать принцип Ле-Шателье, закон действующих масс. Как используется этот принцип для регулирования ХТП?						
Уметь	использовать законы естественнонаучных дисциплин для разработки технологии ХТП проводить лабораторные испытания.	<p>Практические задания:</p> <p>Почему для достижения той же степени превращения при одинаковых условиях проведения реакции в проточном реакторе идеального смешения требуется существенно большее время пребывания реакционной смеси, чем в реакторе идеального вытеснения или в периодическом реакторе идеального смешения?</p> <p>Предложить технологические методы ускорения (замедления) химической реакции.</p> <p>Составить материальный и тепловой балансы процесса сжигания 1 т серосодержащего сырья кислородом воздуха. Сырье содержит, (мас. доли): S - 0,99, H_2O - 0,06, зола – 0,04.</p> <p>Тепловым расчетом определить температуру, до которой необходимо нагреть аммиачно-воздушную смесь, чтобы процесс окисления аммиака протекал автотермично.</p> <p>Данные для расчета:</p> <table border="1" data-bbox="936 1155 2157 1412"> <tbody> <tr> <td data-bbox="936 1155 1915 1235">Степень превращения NH_3 в NO ,%</td> <td data-bbox="1915 1155 2157 1235">96,0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="936 1235 1915 1315">Степень абсорбции, %</td> <td data-bbox="1915 1235 2157 1315">96,5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="936 1315 1915 1412">Содержание аммиака в сухой аммиачно – воздушной смеси , % (масс.).</td> <td data-bbox="1915 1315 2157 1412">10,0</td> </tr> </tbody> </table>	Степень превращения NH_3 в NO ,%	96,0	Степень абсорбции, %	96,5	Содержание аммиака в сухой аммиачно – воздушной смеси , % (масс.).	10,0
Степень превращения NH_3 в NO ,%	96,0							
Степень абсорбции, %	96,5							
Содержание аммиака в сухой аммиачно – воздушной смеси , % (масс.).	10,0							

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства	
		Температура конверсии, °С:	800
		Теплопотери в окружающую среду, % от прихода теплоты	5
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками определения комплекса свойств физико-химических систем, положенных в основу химического производства, – навыками обработки и анализа данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, интерпретации полученных результатов 	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <p>1. В реакторе ИВ протекает последовательная реакция. Какие рекомендации можно сделать, чтобы добиться: а) максимального выхода промежуточного продукта; б) максимальной селективности по промежуточному продукту; в) максимального выхода конечного продукта?</p> <p>Какие преимущества имеет схема производства азотной кислоты при двух давлениях (рис.) по сравнению со схемой при едином давлении?</p> <div style="text-align: center;"> <p>The diagram shows a two-stage process. Stage 1 (box 2) receives Air (Воздух) and NH₃ at P = 0,45 МПа. Stage 2 (box 4) receives Nitrogenous gases (Нитрозные газы) from stage 1 and H₂O at P = 1,2 МПа. The final product is HNO₃, and waste gases (Отходящие газы) are also shown.</p> </div>	

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>2. Процесс осуществляется с протеканием простой обратимой реакции первого порядка</p> $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ <p>Зависимость <i>степени превращения</i> $x(\tau)$ при температурах T_1 и $T_2 > T_1$ для эндотермической и экзотермической реакций в реакторе ИВ (или ИС-п) представлена на рис.</p>  <p>штриховыми линиями показаны равновесные степени превращения x_p для тех же условий</p> <p>Какой температурный режим будет оптимальным для обеспечения максимальной интенсивности процесса с экзотермической и эндотермической реакцией?</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Химические реакторы» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Показатели и критерии оценивания экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач:

- дается комплексная оценка предложенной ситуации;
- демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять;
- последовательное, правильное выполнение всех практических заданий;
- умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций:

- дается комплексная оценка предложенной ситуации;
- демонстрируются достаточные знания теоретического материала и умение их применять; но допускаются незначительные ошибки, неточности
- выполнение всех практических заданий; возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя;
- затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций:

- затруднения с комплексной оценкой предложенной ситуации;
- неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя;
- выполнение заданий при подсказке преподавателя;
- затруднения в формулировке выводов.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач, неправильная оценка предложенной ситуации.