

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 25 » мая 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Реакторы химических производств
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: бакалавриат
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.03.02 Технологические машины и оборудование
(код и наименование направления)

Направленность: Оборудование нефтегазопереработки (СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины – приобретение комплекса знаний и навыков по рациональному выбору типа промышленного реактора для конкретной химической реакции, определению его размеров и поиску оптимальных рабочих условий.

Задачи учебной дисциплины

- изучение закономерностей протекания реакционных процессов;
- изучение методов расчета химических реакторов;
- изучение конструкции типовых реакторов, путей повышения их производительности на основе анализа их работы;
- формирование умения анализировать альтернативные варианты аппаратного оформления реакционных процессов;
- формирование навыков оптимизации режимов работы реакторов.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- стехиометрия простых и комплексных реакций;
- химическая термодинамика и кинетика;
- модели идеальных реакторов;
- тепловые режимы реакторов.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает технические характеристики, конструктивные особенности, назначение, режимы работы и правила эксплуатации технологических машин и оборудования отрасли	Знает технические характеристики, конструктивные особенности, назначение, режимы работы и правила эксплуатации технологических машин и оборудования отрасли	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет выполнять расчёты параметров технологических машин и оборудования, осуществлять анализ причин отказов оборудования, разрабатывать мероприятия повышения надежности оборудования; проводить анализ нарушений правил технической эксплуатации оборудования	Умеет выполнять расчёты параметров технологических машин и оборудования, осуществлять анализ причин отказов оборудования, разрабатывать мероприятия повышения надежности оборудования; проводить анализ нарушений правил технической эксплуатации оборудования	Дифференцированный зачет
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет навыками контроля технического состояния оборудования; обеспечения соблюдения правил, инструкций и технических условий при эксплуатации технологического оборудования	Владеет навыками контроля технического состояния оборудования; обеспечения соблюдения правил, инструкций и технических условий при эксплуатации технологического оборудования	Защита лабораторной работы
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	Знает основное оборудование процесса, принципы его работы и правила технической эксплуатации;	Знает технологические регламенты установок; технологические схемы установок; основное оборудование процесса, принципы его работы и правила технической эксплуатации; требования законодательных, нормативных правовых и локальных актов, инструкций, правил по промышленной и пожарной безопасности, охране труда;	Дифференцированный зачет
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	Умеет анализировать причины отказа работы технологического оборудования;	Умеет осуществлять надзор за безопасной эксплуатацией технологического оборудования; анализировать причины отказа работы технологического оборудования;	Дифференцированный зачет
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	Владеет навыками подготовки данных для технической документации на	Владеет навыками подготовки технической документации на оборудование	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		оборудование технологических объектов.	технологических объектов.	
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Знает основное оборудование, принципы его работы и правила технической эксплуатации;	Знает основное оборудование, принципы его работы и правила технической эксплуатации; технологические схемы оборудования; технологические регламенты установок; законодательные и нормативно-правовые акты, регламентирующие производственную деятельность технологического объекта	Дифференцированный зачет
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Умеет анализировать причины отказа работы технологического оборудования, разрабатывать план мероприятий по их предупреждению.	Умеет эффективно использовать оборудование технологического объекта, анализировать причины отказа работы технологического оборудования, разрабатывать план мероприятий по их предупреждению.	Дифференцированный зачет
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеет навыками обеспечения выполнения требований по эксплуатации технологического оборудования в соответствии с технологическим регламентом; предупреждения и устранения нарушений хода производственного процесса, связанных с эксплуатацией технологического оборудования;	Владеет навыками обеспечения выполнения требований по эксплуатации технологического оборудования в соответствии с технологическим регламентом; предупреждения и устранения нарушений хода производственного процесса, связанных с эксплуатацией технологического оборудования; обеспечение подготовки технической документации на оборудование технологических объектов	Дифференцированный зачет
ПК-3.3	ИД-1 ПК-3.3	Знает методы анализа научных данных; методы	Знает актуальную нормативную	Дифференцированный

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		и средства планирования и организации исследований и разработок;	документацию в соответствующей области знаний; методы анализа научных данных; методы и средства планирования и организации исследований и разработок;	зачет
ПК-3.3	ИД-2 ПК-3.3	Умеет оформлять результаты научно-исследовательских работ;	Умеет применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний; оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;	Защита лабораторной работы
ПК-3.3	ИД-3 ПК-3.3	Владеет навыками проведения экспериментальных работ; обработки результатов экспериментов.	Владеет навыками разработки чертёжной документации; работы с графическими редакторами; работы в интегрированных информационных системах; проведения экспериментальных работ; обработки результатов экспериментов.	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	49	49	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	15	15	
- лабораторные работы (ЛР)	15	15	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	15	15	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	95	95	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
6-й семестр				
Введение	1	0	0	1
Предмет и задачи курса. Качественная характеристика реакционно-технической системы (РТС). Качественная характеристика РТС.				
Закономерности протекания реакционных потоков	1	1	5	22
Тема 1. Стехиометрия простых реакций. Предмет стехиометрии. Простые химические реакции. Число пробега реакции. Мольный баланс реакционных компонентов. Степень превращения и ее связь с числом пробега. Выход и избирательность. Связь между числом пробега и составом. Тема 2. Стехиометрия комплексных реакций. Стехиометрическая зависимость в комплексной РТС. Обсуждение комплексных реакций со стехиометрически зависимыми и независимыми реакциями-участниками.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основы химической термодинамики и кинетики	1	0	3	14
Тема 3. Основные понятия химической термодинамики. Направление протекания химического процесса. Тепловой эффект химической реакции. Температурная зависимость теплового эффекта. Тепловой эффект реактора. Константа химического равновесия и ее зависимость от температуры. Тема 4. Основные понятия химической кинетики. Скорость простой и сложной химической реакции. Порядок и молекулярность реакции. Скорость реакции и температура. Способы получения кинетических уравнений.				
Идеальные изотермические реакторы	4	14	4	44
Тема 5. Модели периодических и непрерывных реакторов. Периодический реактор идеального смешения (РИС-П): его характеристика, баланс веществ, порядок расчета. Непрерывные реакторы идеального смешения (РИС-Н) и вытеснения (РИВ-Н): характеристика, баланс веществ, порядок расчета. Сравнение эффективности РИС-Н и РИВ-Н. Тема 6. Каскад реакторов идеального смешения. Методы расчета каскада. Модели реакторов с неидеальной структурой потоков.				
Тепловые режимы работы реакторов.	4	0	3	10
Тема 7. Адиабатические реакторы (А-РИС-П, А-РИС-Н, А-РИВ-Н). Тема 8. Изотермические реакторы (И-РИС-Н, И-РИВ-Н). Тема 9. Политропические реакторы (П-РИС-Н, П-РИВ-Н). Тепловая устойчивость химических реакторов.				
Особенности расчета каталитических реакторов	2	0	0	2
Тема 10. Особенности кинетики каталитических реакций. Стадии каталитического превращения. Области протекания каталитических реакций. Классификация каталитических реакторов и их характеристика. Тема 11. Промышленные каталитические реакторы. Синтез аммиака в неподвижном слое катализатора. Окисление диоксида серы в неподвижном слое катализатора. Реакторы со взвешенным слоем				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
катализатора.				
Техническое вооружение реакторов	1	0	0	1
Тема 12. Конструктивные элементы реакторов. Классификация реакторов по конструктивным типам. Подача в реактор газа и жидкости. Подача в реактор и вывод из него твердых тел. Приспособления для теплообмена в реакторе. Герметизация реакторов. Защитные приспособления и безопасность работы реакторов.				
Заключение	1	0	0	1
Краткий обзор пройденного материала				
ИТОГО по 6-му семестру	15	15	15	95
ИТОГО по дисциплине	15	15	15	95

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Стехиометрия простых реакций
2	Стехиометрия комплексных реакций
3	Тепловой эффект химического реактора
4	Кинетика простых и сложных химических реакций
5	Порядок расчета РИС-П, РИС-Н, РИВ-Н, каскада РИС-Н - часть 1
6	Порядок расчета РИС-П, РИС-Н, РИВ-Н, каскада РИС-Н - часть 2
7	Расчет адиабатических реакторов (А-РИС-П, А-РИС-Н, А-РИВ-Н)
8	Расчет изотермических реакторов (И-РИС-Н, И-РИВ-Н)
9	Расчет политропических реакторов (П-РИС-Н, П-РИВ-Н)

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Периодический реактор идеального смешения
2	Газожидкостный реактор
3	Структура потоков в каскаде реакторов идеального смешивания

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Кутепов А. М. Общая химическая технология : учебник для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. - Москва: Академкнига, 2005.	28
2	Хлуденев А. Г. Химические реакторы : учебное пособие / А. Г. Хлуденев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	20
2. Дополнительная литература		

2.1. Учебные и научные издания		
1	Закгейм А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. Ю. Закгейм. - Москва: Логос, 2017.	16
2	Корытцева А. К. Химические реакторы. Введение в теорию и практику : учебное пособие / Корытцева А. К., Петьков В. И. - Санкт-Петербург: Лань, 2019.	1
2.2. Периодические издания		
1	Химическое и нефтегазовое машиностроение : международный научно-технический и производственный журнал / Российская инженерная академия; Газпром; Московский государственный университет инженерной экологии. - Москва: Изд-во МГУИЭ, 1932 - .	1
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
1	Хлуденев А. Г. Химические реакторы : учебное пособие / А. Г. Хлуденев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	1
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Хлуденев А. Г. Химические реакторы : учебное пособие / А. Г. Хлуденев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks233931	локальная сеть; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Стенд «Каскад реакторов идеального смешения». Кондуктометр МАРК-602 с датчиком ДП-2С. Ротаметр РС-3	1
Лабораторная работа	Стенд «Реактор газожидкостный». Баллон с углекислотой	1
Лабораторная работа	Стенд «Реактор периодический идеального смешения». Мультитест ИПЛ-301. Термостат жидкостный Loip Lt-112a	1
Лекция	Мультимедийная система, столы 11, стулья 21	1
Практическое занятие	столы 11, стулья 21	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Реакторы химических производств»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Направленность (профиль) образовательной программы:	Оборудование нефтегазопереработки
Квалификация выпускника:	«Бакалавр»
Выпускающая кафедра:	Оборудование и автоматизация химических производств
Форма обучения:	Очная
Курс: <u>3</u>	Семестр: <u>6</u>
Трудоёмкость:	
Кредитов по рабочему учебному плану:	<u>4</u> ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	<u>144</u> ч.
Форма промежуточной аттестации:	Дифференцированный зачет: 6 семестр

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (6-го семестра учебного плана) и включает один учебный модуль. В котором предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и итогового контроля при изучении теоретического материала, выполнении практических заданий, сдаче отчетов по лабораторным работам и дифференцированного зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	ПЗ	ТО	ОЛР	Т/КР		Диф. зачёт
Усвоенные знания						
3.1 знать закономерности протекания реакционных процессов	ПЗ1	ТО1		КР2		ТВ
3.2 методы расчета химических реакторов	ПЗ2	ТО2		КР1		ТВ
3.3. конструкции типовых реакторов	ПЗ3	ТО3		КР2		ТВ
3.4 математические модели реакторов с идеальной и неидеальной структурой потока, каскада реакторов	ПЗ4	ТО4		КР1		ТВ
3.5 модели тепловых режимов реакторов	ПЗ5	ТО5		КР2		ТВ
Освоенные умения						
У.1 уметь выполнять расчеты реакционных процессов	ПЗ		ОЛР1	КР2		ПЗ
У.2 уметь анализировать альтернативные варианты аппаратного оформления реакционных процессов на основе использования математической модели	ПЗ		ОЛР2	КР1		ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 владеть навыками оптимизации режимов работы реакторов	ПЗ		ТО			КЗ

С – собеседование по теме; *ТО* – коллоквиум (теоретический опрос); *КЗ* – кейс-задача (индивидуальное задание); *ОЛР* – отчет по лабораторной работе; *Т/КР* – рубежное тестирование (контрольная работа); *ТВ* – теоретический вопрос; *ПЗ* – практическое задание; *КЗ* – комплексное задание дифференцированного зачета.

- 1) $\frac{M}{c}$ 2) c^{-1} 3) моль 4) моль/м³

5. Укажите зависимость для определения выхода реакции:

- 1) $z = \frac{n_j^*}{n_{j0} - n_j}$ 2) $\varphi = \frac{n_j^*}{n_{j0}}$ 3) $\bar{x} = \frac{\Delta n_j}{V_j}$

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ, а также тестирования или решения задач (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 3 лабораторные работы. Темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов.

Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежных тестовых задания и (или) 2 контрольные задачи после освоения студентами учебных модулей 1 и 2. Первое задание – по модулю 1 «Закономерности протекания реакционных процессов», второе задание – по модулю 2 «Математическое описание реакторов с идеальной структурой потоков».

Примеры тестовых заданий и контрольных задач приведены в Приложениях 1 и 2.

Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических заданий, положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы

(ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций. Типовая форма билета представлена в общей части ФОС программы бакалавриата.

2.4.1.1. Типовые вопросы и задания для дифференцированного зачета по дисциплине

Типовые вопросы для **контроля усвоенных знаний:**

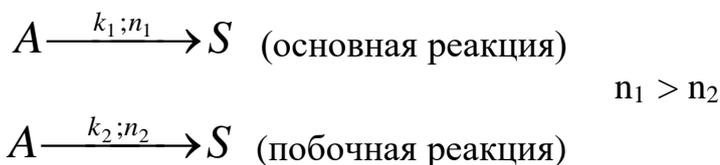
1. Мольный баланс реакционных компонентов. Степень превращения, выход, избирательность.
2. Стехиометрия простых реакций. Число пробега химически реакций.
3. Теплота реакции. Закон Гесса. Температурная зависимость теплового эффекта реакции.
4. Изотермический РИС-Н. Математическое описание.

Типовые вопросы и практические задания для **контроля освоенных умений:**

1. Указать методы определения тепловой устойчивости реакторов.
2. Провести оценку влияния структуры потоков на объем реактора.
3. Указать параметры, необходимые для проектирования реакторов.
4. Выполнить сравнительную оценку реакторов идеального смешения и идеального вытеснения.

Типовые комплексные задания для **контроля приобретенных владений:**

1. Выбрать тип реактора (РИС-Н или РИВ-Н) для комплексной реакции



2. Обосновать использование каскада РИС-Н.
3. Обосновать применение проточных реакторов для проведения изотермических реакций.

2.4.1.2. Шкалы оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х бальной шкале оценивания.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета для компонентов *знать, уметь, владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при дифференцированном зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС программы подготовки бакалавров.

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачёта используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Примеры тестовых заданий

Тест № 1 (модуль 1)

1. Укажите систему стехиометрических уравнений комплексной реакции

1	2
$\left. \begin{array}{l} \sum_{j=1}^t v_{ji} A_i = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^t v_{js} A_s = 0 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} \sum_{j=1}^t v_{ij} A_j = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^t v_{sj} A_j = 0 \end{array} \right\}$

2. Укажите уравнение мольного баланса при стехиометрически независимых комплексных реакциях

3	4
$\Delta n_{ij} = v_{ij} \bar{x}_i$	$\Delta n_j = \sum_{i=1}^r v_{ij} \bar{x}_i$

3. Укажите связь между числом пробега и составом в комплексной реакции через мольные концентрации

5	6
$C_j = C_{j0} + \sum_{i=0}^r v_{ij} \xi_i$	$x_i = \frac{x_{j0} + \sum_{i=1}^r v_{ij} \xi_i}{1 + \sum_{i=1}^r \xi_i \sum_{j=1}^t v_{ij}}$

4. Для реакции типа $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow 2D$ укажите уравнение баланса реакционной системы по компоненту A в мольных долях:

7	8	9
$C_A = \frac{C_{A0} + \xi_1' + \xi_2'}{1 + \xi_2'}$	$X_A = \frac{X_{A0} + \xi_2'}{1 - 2\xi_1'}$	$X_A = \frac{X_{A0} + \xi_2'}{1 + 2\xi_2'}$

5. Для реакции типа $\begin{cases} A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \\ A \rightarrow C \rightarrow D \end{cases}$ укажите системы уравнений, на основе которых составляется мольный баланс реакционных компонентов

10	11	12	13
$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2 \\ 3 \end{array} \right\}$

Тест № 2 (модуль 2)

1. Укажите характеристическое уравнение РИС-П для объемопостоянной реакции нулевого порядка

1

$$t = \frac{C_{A0} \cdot U_A}{K}$$

2

$$t = \frac{1}{K} \ln \frac{1}{1-U_A}$$

3

$$t = \frac{C_{A0} - C_A}{K}$$

2. Укажите характеристическое уравнение РИВ-Н для объемпеременной реакции нулевого порядка

1

$$\tau = \frac{1}{K} \cdot \frac{1 + \varepsilon_A U_A}{1 - U_A}$$

2

$$\tau = \frac{C_{A0} U_A}{K}$$

3. Для объемопостоянной реакции I порядка укажите характеристическое уравнение РИС-Н

1

$$\tau = \frac{1}{K} \ln \frac{1}{1-U_A}$$

2

$$\tau = \frac{1}{K} \cdot \frac{U_A}{1-U_A}$$

4. Укажите характеристическое уравнение РИС-Н для необратимой реакции $(-\Gamma_A) = KC_A^n$, если $V \neq const$

1

$$\tau = \frac{1}{KC_{A0}^{n-1}} \cdot \frac{U_A (1 + \xi_A U_A)^n}{(1 - U_A)^n}$$

2

$$\tau = \frac{1}{KC_{A0}^{n-1}} \cdot \int_0^{U_A} \frac{(1 + \xi_A U_A)^n}{(1 - U_A)^n} dU_A$$

5. В системе протекает в изотермических условиях комплексная реакция



$$n_1 > n_2$$



Выберите тип реактора

1

РИВ-Н

2

РИС-Н

Примеры контрольных задач

Задача № 1 (модуль 1)

Определить тепловой эффект реакции



при $T = 1273 \text{ }^\circ\text{K}$ с использованием

- а) точных уравнений температурной зависимости теплоемкостей
- б) теплосодержаний

Задача № 2 (модуль 2)

Рассчитать среднее время пребывания реагентов в РИС-Н и РИВ-Н, необходимое для достижения степени превращения исходного реагента $U_A = 0,8$.

В реакторах протекает реакция II порядка $2A \rightarrow R + S$, скорость которой описывается при постоянной температуре кинетическим уравнением $r_A = 2,5C_A^2$; $C_{A_0} = 4 \text{ кмоль} / \text{м}^3$.

Задача № 3 (модуль 2)

Реакцию по условиям задачи № 2 проводят в каскаде РИС-Н. Все секции каскада имеют одинаковый объем, подобранный таким образом, что время пребывания в каждой из них равно 0,1 от среднего времени пребывания в РИС-Н.

Определить, сколько таких секций потребуется для достижения $U_A = 0,8$.

Пример билета для дифференцированного зачета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО
«Пермский национальный
исследовательский
политехнический университет»
(ПНИПУ)

15.03.02 «Технологические машины и
оборудование»

*Кафедра
«Оборудование и автоматизация химических
производств»*

Дисциплина
Реакторы химических производств

БИЛЕТ № __

1. Мольный баланс реакционных компонентов при стехиометрически независимых комплексных реакциях.
2. Тепловая устойчивость реакторов (на примере А-РИС-Н).
3. Обоснование применения проточных реакторов для проведения изотермических реакций.

Составитель _____ А.Г. Хлуденев
(подпись)

Заведующий кафедрой _____ Е.Р. Мошев
(подпись)

«__» _____ 20 г.