



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)
ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Красицкая С.Г.

(подпись)

«УТВЕРЖДА
Ю»

Заведующий кафедрой Общей,
неорганической и
элементоорганической химии

Капустина А.А.

(подпись)



« 05 » января 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Кинетика и термодинамика процессов нефтепереработки
Направление подготовки 04.04.01 «Химия»
Химическая инженерия (совместно с СИБУР)
Форма подготовки очная

курс 1 семестр 2
лекции 0 час.
практические занятия 18 час.
лабораторные работы 00 час.
в том числе с использованием
всего часов аудиторной нагрузки 18 час.
самостоятельная работа 90 час.
в том числе на подготовку к экзамену 00 час
зачет 2 семестр
экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки **04.04.01 «Химия»** утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 13 июля 2017 г. № 655
Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента химии и материалов Институт наукоемких технологий и передовых материалов
протокол № 5 от « 05 » января 2021 г.

Директор Департамента химии и материалов Капустина А.А.
Составитель (ли): д.х.н., доцент Васильева М.С.

Владивосток
2021

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ (подпись) _____ (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ (подпись) _____ (И.О. Фамилия)

I. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель – приобретение знаний о кинетике и термодинамике процессов нефтепереработки, маршрутах протекания химических реакций; учете влияния диффузионных и тепловых воздействий на кинетику химических реакций; химических реакциях в зерне и слое катализатора, в аппарате; алгоритмах расчета химических реакторов (жидкость-жидкость, газ-жидкость, жид-кость – (газ) – твердое, газ – жидкость – твердое).

Задачи:

- 1) Овладение теоретическими знаниями и практическими навыками основных методов расчета лимитирующих стадий химических процессов в многофазных каталитических реакторах.
- 2) Приобретение представлений об экспериментальных методах определения основных параметров каталитического реактора.
- 3) Освоение методов оценки влияния процессов тепломассообмена и гидродинамики на работу каталитического реактора.
- 4) Освоение способов оценки скорости химических реакций в реакторе с учетом тепловых и массообменных и внутридиффузионных процессов.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции.

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-1 Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках	ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий
		ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов
Технологический	ПК-7 Способен определять способы, методы и средства	ПК-7.1 Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР

	решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	ПК-7.2 Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
		ПК-7.3 Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР
		ПК-7.4 Проводит испытания инновационной продукции

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать правила планирования исследования Уметь планировать исследование и выделять отдельные стадии исследования Владеть навыками планирования исследования и детального планы отдельных стадий
ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать экспериментальные и расчетно-теоретические методы, необходимые для выполнения экспериментальной части ВКР Уметь выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов Владеть навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов
ПК-7.1 Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Знать методологию подготовки планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР Уметь проводить подготовку детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР Владеть навыками подготовки детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР
ПК-7.2 Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Знать основы оформления документации по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР Уметь готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР Владеть навыками подготовки документации по проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
ПК-7.3 Предлагает технические средства и методы испытаний (из	Знать технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Уметь применять технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР Владеть навыками решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР используя технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся)
ПК-7.4 Проводит испытания инновационной продукции	Знать методы и способы проведения испытания инновационной продукции Уметь проводить испытания инновационной продукции Владеть навыками проведения испытания инновационной продукции

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: лекция-беседа, проблемная лекция, лекция-визуализация с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, видео, слайдов, постеров, компьютеров и т.п.

II. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы 108 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лр	Лабораторные работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации	
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		Контроль
1	Раздел 1. Химико-	2			4	-	20	-	

	технологические процессы								
2	Раздел 2. Гетерогенные процессы	2			4	-	20	-	
3	Раздел 3. Гетерогенно-каталитические процессы.	2			5		20		
4	Раздел 4. Макрокинетическое моделирование химических процессов	2			5		30		
	Итого:				18	-	90		зачет

III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекции не предусмотрены учебным планом. Теоретический курс рекомендован к самостоятельному изучению:

Раздел 1. Химико-технологические процессы

Тема 1. Общие сведения о химико-технологических процессах

1. Понятие о химико-технологическом процессе.
2. Классификация химико-технологических процессов.
3. Технологические критерии эффективности химико-технологического процесса.
4. Стехиометрия в расчетах химических процессов.
5. Основные технологические показатели, составление материального и теплового баланса.
6. Степень превращения, выход и избирательность в химическом процессе.
7. Время пребывания, распределение времени пребывания, перемешивание в химическом процессе.

Тема 2 Термодинамические и кинетические основы химического процесса

Термодинамика и кинетика – основные количественные характеристики химического процесса. Константы равновесия химических реакций, тепловые эффекты реакций, зависимости констант равновесия и скорости химических реакций от температуры, значения констант скоростей, продолжительность химических реакций Термодинамические расчеты химико-технологических процессов. Расчет равновесия по термодинамическим данным. Использование законов химической кинетики при выборе технологического режима и моделировании технологических процессов. Формальная кинетика. Кинетические уравнения. Способы изменения скорости простых и сложных реакций.

Раздел 2. Гетерогенные процессы

Тема 1. Общие сведения о гетерогенных процессах

Гетерогенные процессы. Режимы реакций. Экспериментальные методы. Кинетика гетерогенных каталитических процессов в статическом и динамическом режимах.

Тема 2. Схема гетерогенного процесса

Модели гетерогенного процесса: «сжимающаяся сфера», «сжимающееся ядро». Наблюдаемая скорость гетерогенного процесса, время полного превращения. Режим процесса. Характерные признаки лимитирующей стадии, способы ее определения. Определяющий параметр для каждой лимитирующей стадии.

Раздел 3. Гетерогенно-каталитические процессы

Тема 1. Процессы переноса в каталитических реакциях

Процессы переноса в каталитических реакциях. Области протекания реакции. Понятие лимитирующей стадии.

Тема 2. Внешнедиффузионная область (0,1 час).

Общие закономерности. Скорость процесса во внешнедиффузионной области. Тепловые режимы. Влияние различных факторов. Процесс на поверхности непористого катализатора.

Тема 3. Внутريدиффузионная область

Внутренняя диффузия. Молекулярная диффузия. Кнудсеновская диффузия. Пористая структура катализаторов, модели их пористой структуры. Выражения скорости реакции. Схема и математическая модель процесса в пористом зерне катализатора. Кинетические уравнения, метод решения. Перенос в гранулах и фактор эффективности (степень использования внутренней поверхности катализатора). Модуль Зельдовича-Тиле. Эффекты теплопереноса. Влияние внутренне-диффузионных факторов на скорость процессов.

Тема 4. Теоретические и экспериментальные критерии влияния диффузии

Критерии влияния внешней диффузии. Критерии влияния внутренней диффузии. Критерии теплопереноса. Внешняя диффузия. Кажущаяся энергия активации гетерогенных реакций. Гетерогенно-каталитические процессы на пористом зерне катализатора. Макрокинетика. Диффузионное торможение. Неоднородность в реакторе. Аксиальная неоднородность. Примеры использования теоретических критериев.

Тема 5. Селективность сложных реакций при диффузионном торможении процесса

Селективность последовательных и параллельных реакций во внешне- и внутренидиффузионных областях.

Тема 6. Оптимальная форма и размеры катализатора

Фактор формы. Основные факторы, влияющие на гидравлическое сопротивление частиц катализатора. Оценка фактора эффективности для частиц различной формы. Влияние диффузионного торможения на дезактивацию катализатора. Соотношение между наблюдаемой скоростью и фактором эффективности при дезактивации катализатора. Моделирование химической реакции в зерне катализатора полидисперсной структуры.

Тема 7. Математическое моделирование гетерогенных химических процессов

Типы промышленных катализаторов, способы получения. Зернистый слой катализатора. Прохождение потока через зернистый слой. Анализ процессов в зернистом слое. Перенос вещества и тепла в продольном и поперечном направлении. Теплопроводность зернистого слоя. Системный анализ при моделировании каталитических химических реакторов.

Раздел 4. Макрокинетическое моделирование химических процессов

Тема 1. Основные подходы к решению проблем химической кинетики

Физико-химический, или микроскопический и формально-кинетический, или макроскопический подходы.

Тема 2. Элементы макрокинетической модели

Основные этапы построения макрокинетических моделей.

Тема 3. Макрокинетический эксперимент

Макрокинетический эксперимент, лабораторные микрореакторы, их математическое описание. Численные методы идентификации и анализа кинетических моделей. Интегральный метод оценивания параметров. "Error-in-Variable" (EVM) метод идентификации кинетических моделей на базе экспериментов, получаемых в реакторе идеального смешения. Апостериорный анализ результатов идентификации.

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические работы (18 час.)

Практическая работа №1. «Химическое равновесие в многокомпонентной смеси» (1 час.)

Расчет равновесного состава реагирующей смеси в сложных и простых реакциях. Выбор оптимальных условий проведения исследуемого химического процесса.

Практическая работа №2. Гетерогенные процессы и реакторы для гетерогенных процессов

Определение области протекания гетерогенного процесса по экспериментальным данным. Расчет гетерогенного процесса в реакторах с различной организацией материальных потоков. Составление материального и теплового балансов гетерогенного процесса в реакторе.

Практическая работа №3. Параметры переноса в зернистом слое

Расчет свойств газовой смеси по свойствам индивидуальных компонентов и параметров теплопереноса при прохождении потока газа через зернистый слой.

Практическая работа №4. Пористое зерно катализатора (2 час.)

Расчет процесса в пористом зерне катализатора при протекании простой или сложной реакций:

- профиль степени превращения и концентрации в пористом зерне,
- наблюдаемая скорость превращения W_n ,
- степень использования внутренней поверхности η (эффективность процесса),
- наблюдаемая селективность процесса S_n (для сложной реакции).

Практическая работа № 5. Окисление диоксида серы (процессы и реакторы) (2 час.)

Расчет процесса и реактора окисления диоксида серы на ванадиевом катализаторе, используемый при разработке и анализе промышленного процесса.

Практическая работа № 6. Трубчатые реакторы для гетерогенно-каталитических процессов (1 час.)

Расчет профилей температуры и степеней превращения в трубчатом реакторе промышленных каталитических процессов.

Практическая работа № 7. Реакторы в режимах идеального смешения и вытеснения (2 час.)

Расчет степени превращения и температуры в проточных реакторах с различными режимами движения потока в них (идеального смешения, идеального вытеснения) и различными тепловыми режимами (изотермическим и с теплоотводом) при протекании реакций различного типа (простых и сложных).

Практическая работа № 8. Теоретические критерии (2 час.)

Критерии влияния внутренней диффузии. Критерии влияния внешней диффузии. Примеры использования теоретических критериев.

Закрепление навыков построения двумерных моделей. Построение двух видов сложной модели.

Практическая работа № 9. Моделирование каталитического реактора для химического процесса (2 час.)

Выбор оптимального вида реактора и оптимальных технологических параметров.

V. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристику заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

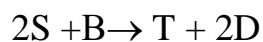
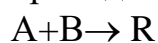
№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-2 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 1	10	домашние задания (ПР-12)
2	3-4 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 2	10	домашние задания (ПР-12)
3	5-6 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 3	10	домашние задания (ПР-12)
4	7-8 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 4	10	домашние задания (ПР-12).
5	9-10 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 5	10	домашние задания (ПР-12)
6	11-12 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 6	10	домашние задания (ПР-12)
7	13-14 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего	10	домашние задания

		задания № 7		(ПР-12)
8	15-16 недели	Работа с литературой, выполнение домашнего задания № 8	10	домашние задания (ПР-12)
9	17-18 недели	Работа с литературой, Подготовка к зачету	10	домашние задания (ПР-12)

Домашнее задание № 1. «Стехиометрия. Материальный и тепловой баланс»

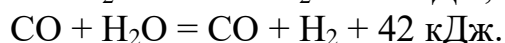
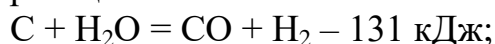
В 1

1. В реакторе идеального смешения проходят реакции:



Определить производительность реактора по вещества R и S при следующих условиях: $C_{A0}=2,0$ кмоль/моль, $C_{B0}=1,7$ кмоль/моль; текущие концентрации веществ $C_A=0,1$ кмоль/моль, $C_B=0,5$ кмоль/моль, $C_T=0,15$ кмоль/моль, $C_D=0,05$ кмоль/моль, скорость подачи $V_0 = 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Считать, что концентрации продуктов в начальный момент времени равны 0.

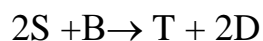
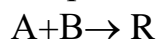
2. Составить материальный баланс процесса газификации 1 т кокса, идущей по реакциям:



В коксе содержится 3 % массовых долей зольных примесей, массовое соотношение пар/кокс = 1,5, степень превращения углерода в коксе – 0,98, выход оксида углерода – 0,90. Найти также общее количество подведенной теплоты.

В-2

1. В реакторе идеального смешения проходят реакции:



Определить производительность реактора по вещества R и S при следующих условиях: $C_{A0}=2,0$ кмоль/моль, $C_{B0}=1,7$ кмоль/моль; текущие концентрации веществ $C_A=0,1$ кмоль/моль, $C_B=0,5$ кмоль/моль, $C_T=0,15$ кмоль/моль, $C_D=0,05$ кмоль/моль, скорость подачи $V_0 = 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Считать, что концентрации продуктов в начальный момент времени равны 0.

2. Составить материальный баланс и рассчитать выход SO_2 при обжиге 1000 кг руды, содержащей 22 % массовых долей серы в виде сульфида цинка (остальное – несгораемые примеси) и при подаче полуторократного избытка воздуха по отношению к стехиометрии.

Реакция обжига: $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 = 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$.

В огарке содержится 0,5 % массовых долей серы.

Домашнее задание № 2. «Термодинамика в расчетах химических процессов»

В1

1. Вывести уравнение для расчета равновесной степени превращения реагента А по известной величине K_c для реакции $2\text{A} \rightleftharpoons \text{R}$.

2. Рассчитать константу равновесия и равновесные концентрации окисления диоксида серы на ванадиевом катализаторе, если кислорода в смеси находится в 2 раза больше, чем требуется по стехиометрии. Степень превращения диоксида серы равна 0,99. Процесс проводится под атмосферным давлением. Исходная концентрация SO_2 составляет 10% объемных долей.

В2

1. Вывести уравнение для расчета равновесной степени превращения реагента А в газофазной реакции по известным значениям константы равновесия K_p и давления P в системе для реакции $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{R}$.

2. Рассчитать константу равновесия и равновесные концентрации реакции восстановления диоксида углерода на графите, если степень превращения диоксида углерода равна 0,96. Процесс проводится под атмосферным давлением.

Домашнее задание № 3. «Кинетика в расчетах химических процессов»

В 1

1. Определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса для константы скорости реакции, значения которой при температурах 273 и 293 К равны соответственно 2,46 и 47,5 с^{-1} .

2. При высокой температуре уксусная кислота разлагается по двум направлениям:



Константа скорости и энергия активации реакции (1) при температуре 1189 К равны соответственно 3,74 с^{-1} и 155 000 Дж/моль; для реакции (2) соответственно - 4,65 с^{-1} и 184 000 Дж/моль. Рассчитать время, необходимое для того, чтобы уксусная кислота прореагировала на 99%, и максимальный выход кетена.

В 2

1. Определить энергию активации реакции, если при изменении температуры с 723 до 773 К ее скорость возрастает в 2,73 раза.
2. Протекает последовательная реакция первого порядка $A \rightarrow R \rightarrow S$. Концентрация промежуточного продукта достигает максимального значения через 170 мин. Рассчитайте константы скоростей этих реакций, если $x_A = 0,4$.

Домашнее задание № 4. «Гетерогенные процессы и гетерогенные реакторы»

В -1

Горение жидкого топлива протекает во внешнедиффузионной области. Топливо впрыскивается в камеру сгорания, образуя капли диаметром 0,1 мм, летящие со скоростью 1,5 м/с. Известно, что капля топлива диаметром 0,3 мм полностью сгорает в потоке такой же скорости за 2 с.

Какова длина участка пламени, в котором полностью сгорает топливо?

В -2

Гранулированный колчедан подается в печь обжига с движущимся слоем колчедана. Фракционный состав колчедана следующий: 10 % массовых долей частиц с $R_0 = 3$ мм; 20 % массовых долей частиц с $R_0 = 4$ мм, 70 % массовых долей частиц с $R_0 = 6$ мм. Среднее время пребывания частиц в зоне реакции равно 6 мин. Время полного сгорания частиц равно соответственно 3,5; 5 и 8 мин.

Определить среднюю степень превращения колчедана, если процесс лимитируется:

- 1) химической реакцией;
- 2) внешней диффузией;
- 3) внутренней диффузией.

Домашнее задание № 5 «Пористое зерно катализатора»

Вариант 1

1. Проводится необратимая реакция второго порядка $A + B \rightarrow C + D$ на цилиндрическом пористом катализаторе с радиусом 0,4 мм. Температурная зависимость константы скорости определяется уравнением

$k = 2.1 \cdot 10^6 \exp(-3600/T)$. Температура проведения реакции составляет 400 К.

Эффективный коэффициент диффузии составляет 0,2 см²/с. Начальная концентрация компонента А равна 0,3 моль/л, концентрация компонента В равна 0,6 моль/л. Степень превращения x при $R=R_0$ равна 0,34.

Определить, как изменится наблюдаемая скорость процесса и степень использования внутренней поверхности катализатора, если взять катализатор с радиусом 0,2 мм.

Вариант 2

Проводится необратимая реакция второго порядка $A + B \rightarrow C + D$ на шарообразном пористом катализаторе с радиусом 0.5 мм. Температурная зависимость константы скорости определяется уравнением

$$k = 3.4 \cdot 10^6 \exp(-7600 / T). \text{ Температура проведения реакции составляет } 800 \text{ К.}$$

Эффективный коэффициент диффузии составляет 0,3 см²/с. Начальная концентрация компонента А равна 0,6 моль/л, концентрация компонента В равна 0,4 моль/л. Степень превращения x при $R=R_0$ равна 0,24.

Определить, как изменится наблюдаемая скорость процесса и степень использования внутренней поверхности катализатора, если взять катализатор с радиусом 0,2 мм.

Домашнее задание № 6. «Внутридиффузионная область»

1. Рассчитать D_{eff} для диффузии газа при 700 К и 10 атм (1 МПа) в порах алюмосиликатного катализатора ($S_{\text{уд}}=198 \text{ м}^2/\text{г}$, $D_{\text{ср}}=147 \text{ \AA}$) с долей незаполненного объема 40% и узким распределением пор по размерам. Определить преобладающую диффузию (по вариантам).

Коэффициенты диффузии некоторых бинарных смесей газов.

№ п/п	Смесь газов	Т.К	D_{12} , см ² /с	№ п/п	Смесь газов	Т.К	D_{12} , см ² /с
1	Азот-аммиак	298	0,230	16	Водород-кислород	273	0,697
2	Азот-иод	273	0,070	17	Водород-метан	288	0,694
3	Азот-кислород	273	0,181	18	Водород-пропан	300	0,450
4	Азот-этилен	298	0,163	129	Водород-этанол	340	0,576
5	Аргон-неон	293	0,329	20	Водород-этилен	298	0,602
6	Вода-азот	307,5	0,256	21	Воздух-аммиак	273	0,198
7	Вода-водород	307,2	1,020	22	Воздух-бензол	298	0,0952
8	Вода-гелий	307	0,902	23	Воздух-вода	298	0,250
9	Вода-диоксид углерода	307,4	0,198	24	Воздух-диоксид серы	273	0,122
10	Вода-кислород	332	0,352	25	Воздух-диоксид углерода	273	0,136
11	Вода-метан	307,6	0,292	26	Воздух-дифенил	491	0,160
12	Вода-этилен	307,7	0,204	27	Воздух-иод	298	0,0834
13	Водород-	293	0,760	28	Воздух-кислород	273	0,175

	азот						
14	Водород-аммиак	298	0,783	29	Воздух-метанол	298	0,162
15	Водород-бензол	273	0,317	30	Воздух-этанол	298	0,132

2. Изучали каталитическое дегидрирования циклогексана при пропускании его при 450 °С и 2,5 МПа через неподвижный слой катализатора алюмоплатинового катализатора с диаметром частиц 4,8 мм. Чтобы предотвратить отложение кокса, к исходному реагенту обычно добавляют большой избыток водорода. Принять отношение водород/углеводород = 4. $\Delta H = +220$ кДж/моль. При объемной скорости подачи, равной 50 (см³/ч см³ реактора) степень превращения составляла 90 %. Эффективная плотность слоя катализатора равна 0,55 (г/см³ реактора). Характеристики промышленного алюмоплатинового катализатора: средний радиус пор 54,3 нм, плотность частиц катализатора 0,98 г/см³, порозность слоя 0,389, удельная поверхность 6,4 м²/г, коэффициент теплопроводности = 0,22 Вт/(мК).

Задания:

1. Определить Φ_s и сделать заключение о степени внутренне-диффузионного торможения.
2. Оценить разогрев внутри гранулы катализатора и сделать заключение об изотермичности или неизотермичности процесса.

Домашнее задание № 7. «Реакторы идеального смешения и вытеснения. Изотермический режим»

В 1
<p>1. Жидкофазная обратимая реакция $2A \leftrightarrow R$; проводится в РИС-н объемом 2,6 м³. Константа скорости прямой реакции $k_1 = 31,4$ м³/(кмоль·мин), обратной – $k_2 = 2$ мин⁻¹. Концентрация исходного вещества 0,6 моль/л. Требуемая степень превращения $x_A = 0,8$. Определить производительность реактора по продукту R.</p> <p>2. Газофазная необратимая реакция второго порядка $A \rightarrow 3R$ исследовалась в опытном реакторе, представляющем собой трубу длиной 1,8 м и диаметром</p>

2,54 см. Реакцию изучали при температуре 350 °С под давлением $4,9 \cdot 10^5$ Па. Расход исходной смеси газа составлял $31 \cdot 10^{-5}$ м³/с. При этих условиях была достигнута степень превращения $x_A = 0,6$. Промышленный процесс проводят при температуре 350 °С и давлении $2,45 \cdot 10^6$ Па. Мощность промышленной установки по газу составляет $2,35 \cdot 10^{-2}$ м³/с. Исходная газовая смесь содержит 50% вещества А и 50% инерта. Требуемая степень превращения 0,8. Определить, какое количество труб указанного размера должен иметь промышленный реактор.

В 2

1. В реакторе протекает реакция второго порядка $2A \rightarrow R$ с константой скорости реакции равной $2,8 \cdot 10^{-1}$ л/(моль·с). Начальная концентрация вещества А на входе в реактор равна 0,85 моль/л, степень превращения вещества А – 0,9. Определить, какое количество вещества А можно переработать в РИС-н объемом 2 м³ и в РИВ объемом 0,6 м³.

2. Газофазный процесс, описываемый простой необратимой реакцией $2A \rightarrow 3R + S$ первого порядка, проводится при температуре 457°С и давлении $9,81 \cdot 10^5$ Па. Константа скорости равна $1,25 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹, скорость подачи исходного реагента – $2,5 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с, требуемая степень превращения 0,9. Определить объем реактора идеального вытеснения для проведения данного процесса.

Домашнее задание № 8. «Реакторы идеального смешения и вытеснения. Неизотермический режим»

В 1

1. В реакторе идеального смешения непрерывного действия, работающем в адиабатических условиях, проводится экзотермическая реакция $A \rightarrow R + Q_p$. Тепловой эффект реакции составляет 160 кДж/кмоль. Раствор вещества А с концентрацией 0,2 молярной доли подается в реактор с температурой 52 °С. В результате адиабатического разогрева при достижении степени превращения $x_A = 0,93$ температура повышается на 43 °С. Определить среднюю теплоемкость реакционного раствора.

2. В каскаде из трех реакторов равного объема проводится жидкофазная реакция $A \rightarrow R + Q_p$ при температуре 368 К. Тепловой эффект реакции равен $1,67 \cdot 10^6$ Дж/кг. Константа скорости реакции, с⁻¹, описывается уравнением $k = 4 \cdot 10^6 \exp(-7900/T)$. Произведение $\rho c_p = 4,2 \cdot 10^6$ Дж/град остается постоянным и не зависит от степени превращения и температуры. Исходная концентрация вещества А в потоке равна 1 кмоль/м³, молярная масса вещества А – 100 кг/кмоль, производительность каскада по продукту R – $0,375 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с, требуемая степень превращения вещества А – 0,95. Первый реактор каскада работает в адиабатическом режиме, второй и третий – с отводом теплоты. Температура реакционной смеси падает в

трубопроводах между первым и вторым реактором на 3 град, а между вторым и третьим на 5 град. Коэффициент теплопередачи во втором и третьем реакторе от реакционной смеси к охлаждающей воде равен 11000 Вт/(м² К). Температура охлаждающей воды в теплообменниках второго и третьего реакторов составляет 288 К.

Определить: поверхность теплообмена во втором и третьем реакторах каскада; необходимую температуру смеси на входе и первый реактор каскада; объем единичного реактора каскада. Показать, что первый реактор каскада работает в устойчивом режиме.

В 2

1. В реакторе идеального смешения непрерывного действия проводится экзотермическая реакция $A \rightarrow R + Q_p$ с тепловым эффектом равным 190 кДж/кмоль. Расход реагента А с температурой 15 °С составляет 0,2 кмоль/с, теплоемкость реакционной смеси - 16,7 кДж/(кмоль·К), температура реакционной смеси на выходе из реактора - 49 °С, степень превращения по веществу А - 0,8, средняя разность температур между охлаждающим агентом и реакционной смесью - 10 град, коэффициент теплопередачи равен 419 кДж/(м²·с·К). Определить количество отводимой или подводимой теплоты и требуемую площадь теплообмена.

2. В каскаде из трех реакторов равного объема проводится жидкофазная реакция $A \rightarrow R + Q_p$ при температуре 368 К. Тепловой эффект реакции равен $1,67 \cdot 10^6$ Дж/кг. Константа скорости реакции, с⁻¹, описывается уравнением $k = 4 \cdot 10^6 \exp(-7900/T)$. Произведение $\rho_p c_p = 4,2 \cdot 10^6$ Дж/град остается постоянным и не зависит от степени превращения и температуры. Исходная концентрация вещества А в потоке равна 1 кмоль/м³, молярная масса вещества А - 100 кг/кмоль, производительность каскада по продукту R - $0,375 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с, требуемая степень превращения вещества А - 0,95. Первый реактор каскада работает в адиабатическом режиме, второй и третий - с отводом теплоты. Температура реакционной смеси падает в трубопроводах между первым и вторым реактором на 3 град, а между вторым и третьим на 5 град. Коэффициент теплопередачи во втором и третьем реакторе от реакционной смеси к охлаждающей воде равен 11000 Вт/(м² К). Температура охлаждающей воды в теплообменниках второго и третьего реакторов составляет 288 К.

Определить: поверхность теплообмена во втором и третьем реакторах каскада; необходимую температуру смеси на входе и первый реактор каскада; объем единичного реактора каскада. Показать, что первый реактор каскада работает в устойчивом режиме.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает в себя повторение теоретического и практического материала дисциплины, заслушиваемого и конспектируемого в ходе аудиторных занятий; изучение основной и дополнительной литературы,

указанной в рабочей учебной программе дисциплины, самоконтроль ответов на основные проблемные вопросы по темам занятий; самостоятельный разбор заданий и задач, решаемых на практических занятиях; самостоятельный повтор действий, осуществляемых в ходе выполнения лабораторных работ, в том числе при работе со специальным программным обеспечением.

Результаты самостоятельной работы представляются и оформляются в виде ответов на основные положения теоретического и практического материала дисциплины по темам; письменного разбора процесса решения практических заданий и задач; собственных действий, осуществляемых в ходе выполнения лабораторных работ.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы – правильность ответов на вопросы по темам теоретической части дисциплины, верность получаемых ответов в ходе решения практических заданий и задач, достижение правильного результата при осуществлении собственных действий по лабораторным работам.

VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Химико-технологические процессы.	ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать правила планирования исследования	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 1-3 (УО-1)
			Уметь планировать исследование и выделять отдельные стадии исследования	Домашние задания № 1-3 (ПР-12)	Экзаменационные вопросы № 1-3 (УО-1)
			Владеть навыками планирования исследования и детального плана отдельных стадий	Домашние задания № 1-3 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 1-3 (УО-1)
2	Раздел 2. Гетерогенные процессы.	ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать экспериментальные и расчетно-теоретические методы, необходимые для выполнения экспериментальной части ВКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)
			Уметь выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Домашнее задание № 4 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)
			Владеть навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и	Домашнее задание № 4 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)

			временных ресурсов		
3	Раздел 3. Гетерогенно-каталитические процессы.	ПК-7.1 Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Знать методологию подготовки планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
			Уметь проводить подготовку детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
			Владеть навыками подготовки детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
4	Раздел 4. Макрокинетическое моделирование химических процессов.	ПК-7.2 Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Знать основы оформления документации по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Уметь готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Владеть навыками подготовки документации по проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		ПК-7.3 Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Знать технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Уметь применять технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Владеть навыками решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР используя технические средства и методы	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)

			испытаний (из набора имеющихся)		
	ПК-7.4 Проводит испытания инновационной продукции	Знать методы и способы проведения испытания инновационной продукции		Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		Уметь проводить испытания инновационной продукции		Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		Владеть навыками проведения испытания инновационной продукции		Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)

Типовые методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

VII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Франк-Каменецкий, Д. А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике : [учебник-монография] /Д. А. Франк-Каменецкий. – Долгопрудный : Интеллект , 2008. – 407 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:663867&theme=FEFU>
2. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика /И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; пер. с англ. В. И. Ролдугина. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 501 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:289588&theme=FEFU>
3. Закгейм, А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Ю. Закгейм. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 2012. - 304 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-497-1.
<http://www.znanium.com/catalog.php?bookinfo=468690>

Дополнительная литература

1. Киперман, С. Л. Основы химической кинетики в гетерогенном катализе. – Москва: Химия, 1979. – 348 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:693930&theme=FEFU>
2. Берлин, А.А. Макрокинетика // Сорровский образовательный журнал. – 1998. – № 3. – С. 48–54.
http://window.edu.ru/resource/365/21365/files/9803_048.pdf
3. Розовский, А. Я. Гетерогенные химические реакции. Кинетика и макрокинетика / А. Я. Розовский ; [отв. ред. Ю. А. Колбановский] ; Академия наук СССР, Институт нефтехимического синтеза. – М.: Наука, 1980. – 323 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:41631&theme=FEFU>
4. Панченков, Г. М. Химическая кинетика и катализ : учебное пособие для вузов / Г. М. Панченков, В. П. Лебедев. – М.: Химия, 1974. – 592 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:58437&theme=FEFU>
5. Сеттерфилд, Ч. Практический курс гетерогенного катализа / Ч. Сеттерфилд ; пер. с англ. А. Л. Клячко, В. А. Швеца. – М.: Мир, 1984. – 520 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:50244&theme=FEFU>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. База данных о веществах и их свойствах: <http://www.chemspider.com/>
2. База данных о веществах и их свойствах: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
3. Вшивков В.А. Использование современных информационных технологий для численного решения прямых химической кинетики / В.А. Вшивков, И.Г. Черных, В.Н. Снытников // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2005. – Т. 6, № 2. С. 71–76. Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=9085629>
4. Цаплин С.В. Математическое моделирование процессов массопереноса и химических превращений в каталитических мембранных реакторах / С.В. Цаплин, Э.М. Кольцова // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21, № 1 (69). – С. 95-103.– Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=20174083>

Математическое моделирование химического реактора с диффузионной структурой потока для реакции n -го порядка / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова, Н. Н. Дикарева // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 18, № 22 (1250). – С. 5-29. – Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=20891892>

VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Материалы учебно-методического комплекса охватывают все этапы подготовки по дисциплине. Они позволяют магистранту сосредоточить свое внимание на наиболее важных ее проблемах.

Тематический план данной дисциплины построен таким образом, чтобы, сочетая возможности различных форм и методов обучения, достичь оптимального результата в усвоении учебного материала.

Основными видами занятий с магистрантами предусмотрены практические работы. Практические работы имеют своей целью закрепить и углубить полученные на лекции знания посредством активного участия каждого магистранта в обсуждении вынесенных на рассмотрение вопросов. Для этого необходимо к каждому занятию изучать рекомендованную литературу и нормативно-правовые акты, а также самому вести поиск новейших источников, отражающих современный уровень разработки той или иной проблемы.

Существенную роль в освоении учебного материала призвана сыграть самостоятельная работа магистрантов, четкие представления о которой получены обучаемыми в процессе выполнения бакалаврской программы.

В рамках данной дисциплины предусмотрено 10 часов самостоятельной работы, которая необходима при проработке материала лекции; подготовке к лабораторным работам, экзамену.

В самостоятельную работу по дисциплине включены следующие виды деятельности:

- изучение литературных источников;
- ознакомление с целями и с порядком выполнения лабораторных работ;
- выполнение индивидуальных заданий, направленных на развитие у студентов самостоятельности и инициативы.

- - подготовка к промежуточному и итоговому контролю.

Для закрепления навыков и знаний, полученных на занятиях, студентам в течение курса выдается 8 домашних заданий. Домашние задания закрепляют навыки текущей темы.

Студенту следует тщательно планировать и организовывать время, необходимое для изучения дисциплины. Недопустимо откладывать ознакомление с теоретической частью, подготовку отчетов к лабораторным работам и выполнение домашних заданий, поскольку это неминуемо приведет к снижению качества освоения материала, оформления отчетов и домашних заданий. Все виды работ по дисциплине рекомендуется выполнять по календарному плану, приведенному в приложении 1.

Рекомендации по работе с литературой

Следует отметить, что представленный в учебно-методическом комплексе список литературных источников не является исчерпывающим, а предлагается как определенный ориентир при изучении указанных в планах практических занятий проблем. В связи с этим, каждый магистрант должен уметь вести поиск имеющейся в библиотечных фондах научной информации, следить за новыми публикациями и самостоятельно определяться относительно их теоретической и практической значимости.

На этой основе рекомендуется вырабатывать собственные критерии сравнительной оценки имеющихся источников и основания осознанного предпочтения одних публикаций перед другими.

Рекомендации по подготовке к зачету

Подготовка к экзамену должна начинаться с внимательного ознакомления с перечнем вопросов, вынесенных кафедрой на итоговую форму контроля по

данной учебной дисциплине. Затем, следует подобрать необходимую литературу, где содержатся ответы на подлежащие проработке вопросы и еще раз изучить соответствующие ее темы и разделы. Правильное распределение времени на подготовку к зачету, планомерность проработки учебного материала – залог успешной сдачи предстоящего испытания.

IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 607. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Мультимедийное оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 ССВА - 1 шт. Парты и стулья	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, поселок Аякс, 10, корпус L, L462 лаборатория атомной спектроскопии и молекулярных методов анализа: сектор ИК, КР спектроскопии, УФ и ВИД спектроскопии, сектор термоанализа	ИК спектрометр SpectrumBXII (PERKIN ELMER) – 1 шт.; ИК\КР спектрометр BRUKER\Vertex 70 – 1 шт.; спектрофотометрУФ\ВИД Cintra 5 – 1 шт.; спектрофотометр УФ\ВИД Shimadzu 2550 – 1 шт.; ИК микроскоп BRUKER Hiperion – 1 шт.; микрокалориметр DSC 60 SHIMADZU – 1 шт.; дериватограф DTG 60H SHIMADZY – 1 шт.;	
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 474. Лаборатория молекулярного анализа: лаборатория атомной спектроскопии и молекулярных методов анализа: сектор элементного анализа	Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр Shimadzu DX800HS.- 1шт.; ICPE 9000 эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой – 1 шт.; водородный генератор Parker – 1 шт.	
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 842. Лаборатория специализированных практикумов	Центрифуга SIGMA 2-16P, печь муфельная, 3 шкафа вытяжных для работы с ЛВЖ, столешница - FRIDURIT 20 (в комплекте) ЛАБ-PRO III, испаритель ротационный IP-1ЛТ, шкаф вытяжной для мытья посуды, столешница - TRESPA, 2 чаши размером 430*380*285, шкаф вытяжной для работы с кислотами, столешница - VITE (в комплекте) ЛАБ-PRO ШВ, вакуумный сушильный шкаф Vacucell 22,	

	электронные аналитические весы, шкаф для баллонов ЛАБ-PRO ШМБ 60.35.165, магнитная мешалка MR 30001 (Heidolph, Германия) с подогревом до 300 С, насос вакуумный пластинчато-роторный 2НВР -5ДМ, вакуумный агрегат, столы лабораторные и стулья	
--	---	--

Х. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины / модуля

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Раздел 1. Химико-технологические процессы.	ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать правила планирования исследования	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 1-3 (УО-1)
			Уметь планировать исследование и выделять отдельные стадии исследования	Домашние задания № 1-3 (ПР-12)	Экзаменационные вопросы № 1-3 (УО-1)
			Владеть навыками планирования исследования и детального планы отдельных стадий	Домашние задания № 1-3 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 1-3 (УО-1)
2	Раздел 2. Гетерогенные процессы.	ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать экспериментальные и расчетно-теоретические методы, необходимые для выполнения экспериментальной части ВКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)
			Уметь выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Домашнее задание № 4 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)
			Владеть навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и	Домашнее задание № 4 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 4-5 (УО-1)

			временных ресурсов		
3	Раздел 3. Гетерогенно-каталитические процессы.	ПК-7.1 Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Знать методологию подготовки планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
			Уметь проводить подготовку детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
			Владеть навыками подготовки детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 6-17 (УО-1)
4	Раздел 4. Макрокинетическое моделирование химических процессов.	ПК-7.2 Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Знать основы оформления документации по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Уметь готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Владеть навыками подготовки документации по проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		ПК-7.3 Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Знать технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Уметь применять технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
			Владеть навыками решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР используя технические средства и методы	Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)

			испытаний (из набора имеющихся)		
	ПК-7.4 Проводит испытания инновационной продукции	Знать методы и способы проведения испытания инновационной продукции		Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		Уметь проводить испытания инновационной продукции		Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)
		Владеть навыками проведения испытания инновационной продукции		Домашние задания № 5-8 (ПР-12)	Вопросы к зачету № 18-26 (УО-1)

Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий (Доклад, отчет по лабораторной работе, проект, тест) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем. Объектами оценивания выступают: - учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине); - степень усвоения теоретических знаний; - уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы; - результаты самостоятельной работы.

Примерный перечень оценочных средств (ОС)

I. Текущая аттестация студентов

Устный опрос.

1. Собеседование (УО-1) (Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.). Вопросы к экзамену.

Письменные работы

1. Проект (отчет по лабораторной работе) (ПР-9) (Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий.

Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся). Темы лабораторных работ.

2. Расчетно-графическая работа (ПР-12) (Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом) Комплект домашних заданий по вариантам.

Промежуточная аттестация студентов.

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Макрокинетика химических и каталитических процессов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. По данной дисциплине предусмотрен зачет в письменной форме с использованием устного опроса в форме собеседования по вопросам.

Вопросы для подготовки к зачету для промежуточного контроля знаний

1. Стехиометрические уравнения. Степень превращения (X). Селективность (S). Выход продукта (R).
2. Термодинамика в расчетах химических процессов. Изменение энтальпии в результате химической реакции. Закон действующих масс. Химическое равновесие в многокомпонентной смеси. Константы равновесия. Расчет равновесного состава реагирующей смеси.
3. Кинетика в расчетах химических процессов. Скорость превращения вещества (W), определение скорости химической реакции (r) для необратимых, обратимых, последовательных, параллельных реакций первого, второго, нулевого порядков. Температурная зависимость константы скорости реакции (k). Изотерма адсорбции. Уравнение Ленгмюра. Метод стационарных концентраций Боденштейна. Кинетика химических реакций, протекающих в потоке. Вывод основных уравнений в потоке.
5. Общие сведения о гетерогенных процессах. Схема гетерогенного процесса.
6. Гетерогенно-каталитические реакции. Теория Лэнгмюра-Хиншельвуда. Кинетика гетерогенных каталитических реакций в потоке. Уравнение Фроста.
7. Процессы переноса в каталитических реакциях. Понятие лимитирующей стадии. Внешнедиффузионная область. Общие закономерности. Скорость процесса. Тепловые режимы. Влияние различных факторов. Процесс на поверхности непористого катализатора.
8. Внутренне-диффузионная область. Пористая структура катализаторов, модели их пористой структуры. Выражения скорости реакции. Схема и математическая модель процесса в пористом зерне катализатора. Кинетические уравнения, метод решения. Перенос в гранулах и фактор эффективности (степень использования внутренней поверхности катализатора). Эффективная глубина проникновения реакции N в гранулы катализатора. Модуль Зельдовича-Тиле.
9. Вынужденный диффузионный поток. Эффекты теплопереноса. Влияние внутренне-диффузионных факторов на скорость процессов.
10. Переходные области. Внутренняя переходная область. Внешняя переходная область. Внешняя кинетическая область.
11. Коэффициент диффузии. Критерии влияния диффузии. Критерии влияния внешней диффузии. Критерии влияния внутренней диффузии. Критерии теплопереноса. Внешняя диффузия.
12. Внутренняя диффузия. Молекулярная диффузия. Кнудсеновская диффузия. Поверхностная (фольмеровская) диффузия. Влияние диффузии на скорость реакций. Влияние диффузии на порядок реакции. Влияние диффузии на

экспериментально определяемую энергию активации. Влияние диффузии на селективность. Градиент температуры внутри зерна катализатора.

13. Процессы в слоях катализатора. Параметры, характеризующие зерно и слой катализатора. Параметры переноса в зернистом слое. Параметры зернистого слоя и явлений переноса в нем. Геометрические параметры зернистого слоя. Критерии подобия для расчета параметров теплопереноса.

Коэффициенты теплопереноса в слое. Параметры математической модели процесса в зернистом слое.

14. Кажущаяся энергия активации гетерогенных реакций.

15. Требования к гетерогенному катализатору.

16. Дезактивация катализатора, методы регенерации катализаторов.

17. Типы, классификация химических реакторов и проблемы их разработки. Математическое моделирование гетерогенных химических процессов.

18. Основные подходы к решению проблем химической кинетики: Физико-химический, или микроскопический и формально-кинетический, или макроскопический.

19. Определение понятия "макрокинетика".

20. Элементы макрокинетической модели.

21. Основные этапы построения макрокинетических моделей.

22. Построение кинетических уравнений гетерогенно-каталитических реакций с использованием представлений о детальном механизме.

23. Макрокинетический эксперимент. Численные методы идентификации и анализа кинетических моделей.

24. Интегральный метод оценивания параметров.

25. "Error-in-Variable" (EVM) метод идентификации кинетических моделей на базе экспериментов, получаемых в реакторе идеального смешения.

26. Апостериорный анализ результатов идентификации.

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и наименование индикатора компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-1.1 Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	Знать правила планирования исследования	Не знает основные принципы организации научных работ в области фундаментальной и прикладной химической науки	Знает правила планирования исследования
	Уметь планировать исследование и	Не может составлять планы и программы исследований	Умеет планировать исследование и

	выделять отдельные стадии исследования	научного коллектива, определять состав коллектива	выделять отдельные стадии исследования
	Владеть навыками планирования исследования и детального планы отдельных стадий	Не владеет навыками планирования исследований научного коллектива, подбора команды	Владеет навыками планирования исследования и детального планы отдельных стадий
ПК-1.2 Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать экспериментальные и расчетно-теоретические методы, необходимые для выполнения экспериментальной части ВКР	Не знает основные принципы организации работы коллектива	Знает экспериментальные и расчетно-теоретические методы, необходимые для выполнения экспериментальной части ВКР
	Уметь выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Не может анализировать процесс и выбрать подходящие направления работы с учетом особенностей поведения и мнений ее членов	Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов
	Владеть навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Не владеет навыками планирования работ научного коллектива	Владеет навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов
ПК-7.1 Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Знать методологию подготовки планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Не знает основные критерии и оценки конфликтных ситуаций в научном коллективе	Знает методологию подготовки планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР
	Уметь проводить подготовку детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Не умеет оценивать риски по выполнению показателей научного коллектива с учетом возникающих этических проблем	Умеет проводить подготовку детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР
	Владеть навыками подготовки детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР	Не владеет навыками общения с коллегами по научному коллективу с целью разрешения конфликтов и противоречий	Владеет навыками подготовки детальных планов отдельных стадий прикладных НИР и НИОКР
ПК-7.2	Знать основы	Не знает принципы	Знает основы

Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	оформления документации по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	организации науки, приемы аргументации, доказательства	оформления документации по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
	Уметь готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Не умеет проводить анализ работы коллектива для организации обсуждения результатов в дискуссионном формате	Умеет готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
	Владеть навыками подготовки документации по проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР	Не владеет приемами аргументации, технология возражений при проведении дискуссии	Владеет навыками подготовки документации по проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР
ПК-7.3 Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Знать технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Не знает основные направления организации коллективной и индивидуальной работы в научном коллективе	Знать технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР
	Уметь применять технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР	Не умеет проводить анализ деятельности коллектива для распределения поручений	Уметь применять технические средства и методы испытаний для решения задач в рамках прикладных НИР и НИОКР
	Владеть навыками решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР используя технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся)	Не владеет навыками критической оценки коллективной и индивидуальной работы в научном коллективе для достижения максимального результата	Владеть навыками решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР используя технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся)
ПК-7.4 Проводит испытания инновационной продукции	Знать методы и способы проведения испытания инновационной продукции	Не знает основные научные базы данных, перечень журналов, грамматические конструкции в изучаемой области	Знать методы и способы проведения испытания инновационной продукции
	Уметь проводить испытания инновационной продукции	Не умеет проводить анализ оригинальных текстов научных статей и регламентирующих	Уметь проводить испытания инновационной продукции

		работу документов	
	Владеть навыками проведения испытания инновационной продукции	Не владеет навыками анализа оригинальных текстов научных статей и регламентирующих работу документов	Владеть навыками проведения испытания инновационной продукции

Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
«зачтено»/ «отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач
«зачтено»/ «хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, недопуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
«зачтено»/ «удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
«незачтено»/ «неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной дисциплине.

Критерии оценки домашнего задания, отчета по лабораторной работе

100-86 баллов - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство

с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 - баллов - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

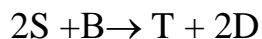
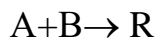
75-61 - балл - фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов - незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

Домашнее задание № 1. «Стехиометрия. Материальный и тепловой баланс»

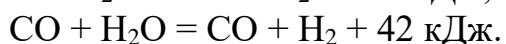
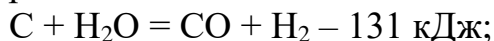
В 1

1. В реакторе идеального смешения проходят реакции:



Определить производительность реактора по веществу R и S при следующих условиях: $C_{A0}=2,0$ кмоль/моль, $C_{B0}=1,7$ кмоль/моль; текущие концентрации веществ $C_A=0,1$ кмоль/моль, $C_B=0,5$ кмоль/моль, $C_T=0,15$ кмоль/моль, $C_D=0,05$ кмоль/моль, скорость подачи $V_0 = 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Считать, что концентрации продуктов в начальный момент времени равны 0.

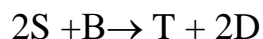
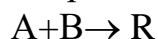
2. Составить материальный баланс процесса газификации 1 т кокса, идущей по реакциям:



В коксе содержится 3 % массовых долей зольных примесей, массовое соотношение пар/кокс = 1,5, степень превращения углерода в коксе – 0,98, выход оксида углерода – 0,90. Найти также общее количество подведенной теплоты.

В-2

1. В реакторе идеального смешения проходят реакции:



Определить производительность реактора по веществам R и S при следующих условиях: $C_{A0}=2,0$ кмоль/моль, $C_{B0}=1,7$ кмоль/моль; текущие концентрации веществ $C_A=0,1$ кмоль/моль, $C_B=0,5$ кмоль/моль, $C_T=0,15$ кмоль/моль, $C_D=0,05$ кмоль/моль, скорость подачи $V_0 = 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Считать, что концентрации продуктов в начальный момент времени равны 0.

2. Составить материальный баланс и рассчитать выход SO_2 при обжиге 1000 кг руды, содержащей 22 % массовых долей серы в виде сульфида цинка (остальное – несгораемые примеси) и при подаче полуторократного избытка воздуха по отношению к стехиометрии.

Реакция обжига: $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 = 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$.

В огарке содержится 0,5 % массовых долей серы.

Домашнее задание № 2. «Термодинамика в расчетах химических процессов»

В1

1. Вывести уравнение для расчета равновесной степени превращения реагента A по известной величине K_c для реакции $2A \rightleftharpoons R$.

2. Рассчитать константу равновесия и равновесные концентрации окисления диоксида серы на ванадиевом катализаторе, если кислорода в смеси находится в 2 раза больше, чем требуется по стехиометрии. Степень превращения диоксида серы равна 0,99. Процесс проводится под атмосферным давлением. Исходная концентрация SO_2 составляет 10% объемных долей.

В2

1. Вывести уравнение для расчета равновесной степени превращения реагента A в газофазной реакции по известным значениям константы равновесия K_p и давления P в системе для реакции $A + B \rightleftharpoons R$.

2. Рассчитать константу равновесия и равновесные концентрации реакции восстановления диоксида углерода на графите, если степень превращения диоксида углерода равна 0,96. Процесс проводится под атмосферным давлением.

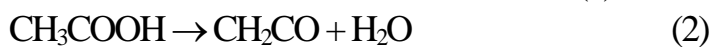
Домашнее задание № 3. «Кинетика в расчетах химических процессов»

В 1

1. Определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель в

уравнении Аррениуса для константы скорости реакции, значения которой при температурах 273 и 293 К равны соответственно 2,46 и 47,5 с⁻¹.

2. При высокой температуре уксусная кислота разлагается по двум направлениям:



Константа скорости и энергия активации реакции (1) при температуре 1189 К равны соответственно 3,74 с⁻¹ и 155 000 Дж/моль; для реакции (2) соответственно - 4,65 с⁻¹ и 184 000 Дж/моль. Рассчитать время, необходимое для того, чтобы уксусная кислота прореагировала на 99%, и максимальный выход кетена.

В 2

1. Определить энергию активации реакции, если при изменении температуры с 723 до 773 К ее скорость возрастает в 2,73 раза.

2. Протекает последовательная реакция первого порядка $A \rightarrow R \rightarrow S$. Концентрация промежуточного продукта достигает максимального значения через 170 мин. Рассчитайте константы скоростей этих реакций, если $x_A = 0,4$.

Домашнее задание № 4. «Гетерогенные процессы и гетерогенные реакторы»

В -1

Горение жидкого топлива протекает во внешнедиффузионной области. Топливо впрыскивается в камеру сгорания, образуя капли диаметром 0,1 мм, летящие со скоростью 1,5 м/с. Известно, что капля топлива диаметром 0,3 мм полностью сгорает в потоке такой же скорости за 2 с.

Какова длина участка пламени, в котором полностью сгорает топливо?

В -2

Гранулированный колчедан подается в печь обжига с движущимся слоем колчедана. Фракционный состав колчедана следующий: 10 % массовых долей частиц с $R_0 = 3$ мм; 20 % массовых долей частиц с $R_0 = 4$ мм, 70 % массовых долей частиц с $R_0 = 6$ мм. Среднее время пребывания частиц в зоне реакции равно 6 мин. Время полного сгорания частиц равно соответственно 3,5; 5 и 8 мин.

Определить среднюю степень превращения колчедана, если процесс лимитируется:

- 1) химической реакцией;
- 2) внешней диффузией;
- 3) внутренней диффузией.

Домашнее задание № 5 «Пористое зерно катализатора»

Вариант 1

1. Проводится необратимая реакция второго порядка $A + B \rightarrow C + D$ на цилиндрическом пористом катализаторе с радиусом 0,4 мм. Температурная зависимость константы скорости определяется уравнением $k = 2.1 \cdot 10^6 \exp(-3600/T)$. Температура проведения реакции составляет 400 К. Эффективный коэффициент диффузии составляет 0,2 см²/с. Начальная концентрация компонента А равна 0,3 моль/л, концентрация компонента В равна 0,6 моль/л. Степень превращения x при $R=R_0$ равна 0,34. Определить, как изменится наблюдаемая скорость процесса и степень использования внутренней поверхности катализатора, если взять катализатор с радиусом 0,2 мм.

Вариант 2

Проводится необратимая реакция второго порядка $A + B \rightarrow C + D$ на шарообразном пористом катализаторе с радиусом 0.5 мм. Температурная зависимость константы скорости определяется уравнением $k = 3.4 \cdot 10^6 \exp(-7600/T)$. Температура проведения реакции составляет 800 К. Эффективный коэффициент диффузии составляет 0,3 см²/с. Начальная концентрация компонента А равна 0,6 моль/л, концентрация компонента В равна 0,4 моль/л. Степень превращения x при $R=R_0$ равна 0,24. Определить, как изменится наблюдаемая скорость процесса и степень использования внутренней поверхности катализатора, если взять катализатор с радиусом 0,2 мм.

Домашнее задание № 6. «Внутридиффузионная область»

1. Рассчитать D_{eff} для диффузии газа при 700 К и 10 атм (1 МПа) в порах алюмосиликатного катализатора ($S_{уд}=198$ м²/г, $D_{cp}=147$ Å) с долей незаполненного объема 40% и узким распределением пор по размерам. Определить преобладающую диффузию (по вариантам).

Коэффициенты диффузии некоторых бинарных смесей газов.

№ п/п	Смесь газов	Т.К	D_{12} , см ² /с	№ п/п	Смесь газов	Т.К	D_{12} , см ² /с
1	Азот-аммиак	298	0,230	16	Водород-кислород	273	0,697
2	Азот-иод	273	0,070	17	Водород-метан	288	0,694
3	Азот-кислород	273	0,181	18	Водород-пропан	300	0,450
4	Азот-этилен	298	0,163	129	Водород-этанол	340	0,576
5	Аргон-неон	293	0,329	20	Водород-этилен	298	0,602
6	Вода-азот	307,5	0,256	21	Воздух-аммиак	273	0,198

7	Вода-водород	307,2	1,020	22	Воздух-бензол	298	0,0952
8	Вода-гелий	307	0,902	23	Воздух-вода	298	0,250
9	Вода-диоксид углерода	307,4	0,198	24	Воздух-диоксид серы	273	0,122
10	Вода-кислород	332	0,352	25	Воздух-диоксид углерода	273	0,136
11	Вода-метан	307,6	0,292	26	Воздух-дифенил	491	0,160
12	Вода-этилен	307,7	0,204	27	Воздух-иод	298	0,0834
13	Водород-азот	293	0,760	28	Воздух-кислород	273	0,175
14	Водород-аммиак	298	0,783	29	Воздух-метанол	298	0,162
15	Водород-бензол	273	0,317	30	Воздух-этанол	298	0,132

2. Изучали каталитическое дегидрирования циклогексана при пропускании его при 450 °С и 2,5 МПа через неподвижный слой катализатора алюмоплатинового катализатора с диаметром частиц 4,8 мм. Чтобы предотвратить отложение кокса, к исходному реагенту обычно добавляют большой избыток водорода. Принять отношение водород/углеводород = 4. $\Delta H = +220$ кДж/моль. При объемной скорости подачи, равной 50 (см³/ч см³ реактора) степень превращения составляла 90 %. Эффективная плотность слоя катализатора равна 0,55 (г/см³ реактора). Характеристики промышленного алюмоплатинового катализатора: средний радиус пор 54,3 нм, плотность частиц катализатора 0,98 г/см³, порозность слоя 0,389, удельная поверхность 6,4 м²/г, коэффициент теплопроводности = 0,22 Вт/(мК).

Задания:

1. Определить Φ_s и сделать заключение о степени внутренне-диффузионного торможения.
2. Оценить разогрев внутри гранулы катализатора и сделать заключение об изотермичности или неизотермичности процесса.

Домашнее задание № 7. «Реакторы идеального смешения и вытеснения. Изотермический режим»

В 1

1. Жидкофазная обратимая реакция $2A \leftrightarrow R$; проводится в РИС-н объемом $2,6 \text{ м}^3$. Константа скорости прямой реакции $k_1 = 31,4 \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{мин})$, обратной – $k_2 = 2 \text{ мин}^{-1}$. Концентрация исходного вещества $0,6 \text{ моль/л}$. Требуемая степень превращения $x_A = 0,8$. Определить производительность реактора по продукту R.

2. Газофазная необратимая реакция второго порядка $A \rightarrow 3R$ исследовалась в опытном реакторе, представляющем собой трубу длиной $1,8 \text{ м}$ и диаметром $2,54 \text{ см}$. Реакцию изучали при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ под давлением $4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Расход исходной смеси газа составлял $31 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$. При этих условиях была достигнута степень превращения $x_A = 0,6$. Промышленный процесс проводят при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $2,45 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Мощность промышленной установки по газу составляет $2,35 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Исходная газовая смесь содержит 50% вещества A и 50% инерта. Требуемая степень превращения $0,8$. Определить, какое количество труб указанного размера должен иметь промышленный реактор.

В 2

1. В реакторе протекает реакция второго порядка $2A \rightarrow R$ с константой скорости реакции равной $2,8 \cdot 10^{-1} \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{с})$. Начальная концентрация вещества A на входе в реактор равна $0,85 \text{ моль/л}$, степень превращения вещества A – $0,9$. Определить, какое количество вещества A можно переработать в РИС-н объемом 2 м^3 и в РИВ объемом $0,6 \text{ м}^3$.

2. Газофазный процесс, описываемый простой необратимой реакцией $2A \rightarrow 3R + S$ первого порядка, проводится при температуре 457°C и давлении $9,81 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Константа скорости равна $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, скорость подачи исходного реагента – $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/с}$, требуемая степень превращения $0,9$. Определить объем реактора идеального вытеснения для проведения данного процесса.

Домашнее задание № 8. «Реакторы идеального смешения и вытеснения. Неизотермический режим»

В 1

1. В реакторе идеального смешения непрерывного действия, работающем в адиабатических условиях, проводится экзотермическая реакция $A \rightarrow R + Q_p$. Тепловой эффект реакции составляет 160 кДж/кмоль . Раствор вещества A с концентрацией $0,2 \text{ молярной доли}$ подается в реактор с температурой $52 \text{ }^\circ\text{C}$. В результате адиабатического разогрева при достижении степени превращения $x_A = 0,93$ температура повышается на 43

°С. Определить среднюю теплоемкость реакционного раствора.

2. В каскаде из трех реакторов равного объема проводится жидкофазная реакция $A \rightarrow R + Q_p$ при температуре 368 К. Тепловой эффект реакции равен $1,67 \cdot 10^6$ Дж/кг. Константа скорости реакции, s^{-1} , описывается уравнением $k = 4 \cdot 10^6 \exp(-7900/T)$. Произведение $\rho c_p = 4,2 \cdot 10^6$ Дж/град остается постоянным и не зависит от степени превращения и температуры. Исходная концентрация вещества А в потоке равна 1 кмоль/м³, молярная масса вещества А – 100 кг/кмоль, производительность каскада по продукту R – $0,375 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с, требуемая степень превращения вещества А – 0,95. Первый реактор каскада работает в адиабатическом режиме, второй и третий – с отводом теплоты. Температура реакционной смеси падает в трубопроводах между первым и вторым реактором на 3 град, а между вторым и третьим на 5 град. Коэффициент теплопередачи во втором и третьем реакторе от реакционной смеси к охлаждающей воде равен 11000 Вт/(м² К). Температура охлаждающей воды в теплообменниках второго и третьего реакторов составляет 288 К.

Определить: поверхность теплообмена во втором и третьем реакторах каскада; необходимую температуру смеси на входе и первый реактор каскада; объем единичного реактора каскада. Показать, что первый реактор каскада работает в устойчивом режиме.

В 2

1. В реакторе идеального смешения непрерывного действия проводится экзотермическая реакция $A \rightarrow R + Q_p$ с тепловым эффектом равным 190 кДж/кмоль. Расход реагента А с температурой 15 °С составляет 0,2 кмоль/с, теплоемкость реакционной смеси – 16,7 кДж/(кмоль·К), температура реакционной смеси на выходе из реактора – 49 °С, степень превращения по веществу А – 0,8, средняя разность температур между охлаждающим агентом и реакционной смесью – 10 град, коэффициент теплопередачи равен 419 кДж/(м²·с·К). Определить количество отводимой или подводимой теплоты и требуемую площадь теплообмена.

2. В каскаде из трех реакторов равного объема проводится жидкофазная реакция $A \rightarrow R + Q_p$ при температуре 368 К. Тепловой эффект реакции равен $1,67 \cdot 10^6$ Дж/кг. Константа скорости реакции, s^{-1} , описывается уравнением $k = 4 \cdot 10^6 \exp(-7900/T)$. Произведение $\rho c_p = 4,2 \cdot 10^6$ Дж/град остается постоянным и не зависит от степени превращения и температуры. Исходная концентрация вещества А в потоке равна 1 кмоль/м³, молярная масса вещества А – 100 кг/кмоль, производительность каскада по продукту R – $0,375 \cdot 10^{-3}$ кмоль/с, требуемая степень превращения вещества А – 0,95. Первый реактор каскада работает в адиабатическом режиме, второй и третий – с отводом теплоты. Температура реакционной смеси падает в трубопроводах между первым и вторым реактором на 3 град, а между вторым и третьим на 5 град. Коэффициент теплопередачи во втором и третьем реакторе от реакционной смеси к охлаждающей воде равен 11000 Вт/(м² К). Температура охлаждающей воды в теплообменниках второго и

третьего реакторов составляет 288 К.

Определить: поверхность теплообмена во втором и третьем реакторах каскада; необходимую температуру смеси на входе и первый реактор каскада; объем единичного реактора каскада. Показать, что первый реактор каскада работает в устойчивом режиме.