

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 26.09.2023 17:25:54  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе

\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский

« 22 » марта 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОСНОВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО И  
НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**Химическая технология основного органического синтеза**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химической и биотехнологии**

Кафедра **технологии нефтехимических и углехимических производств**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		С.В. Дронов

Рабочая программа дисциплины «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза» обсуждена на заседании кафедры технологии нефтехимических и углехимических производств.

протокол от « 20 » 01 2021 № 3

Заведующий кафедрой

Б.В. Пекаревский

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии

протокол от « 18 » 03 2021 № 8

Председатель

М.В. Рутто

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	5
2	Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	7
3	Объем дисциплины .....	8
4	Содержание дисциплины .....	9
4.1	Разделы дисциплины и виды занятий в 5 семестре .....	9
4.1.1	Занятия лекционного типа.....	9
4.1.2	Практические занятия.....	11
4.1.3	Самостоятельная работа обучающихся.....	11
4.2	Разделы дисциплины и виды занятий в 6 семестре .....	12
4.2.1	Занятия лекционного типа.....	13
4.2.2	Лабораторные занятия .....	14
4.2.3	Практические занятия.....	14
4.2.4	Самостоятельная работа обучающихся.....	15
4.2.5	Примеры задач для выполнения курсовых работ в 6 семестре .....	16
4.3	Разделы дисциплины и виды занятий в 7 семестре .....	16
4.3.1	Занятия лекционного типа.....	17
4.3.2	Лабораторные занятия .....	17
4.3.3	Практические занятия.....	17
4.3.4	Самостоятельная работа обучающихся.....	18
4.4	Разделы дисциплины и виды занятий в 8 семестре .....	18
4.4.1	Практические занятия .....	19
4.4.2	Самостоятельная работа обучающихся.....	19
4.4.3	Примеры задач для выполнения курсовых работ в 8 семестре .....	20
5	Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	20
6	Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	20
7	Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	21
8	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	22
9	Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	22
10	Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	22
10.1	Информационные технологи.....	22

10.2 Программное обеспечение .....	23
10.3 Базы данных и информационные справочные системы .....	23
11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	23
12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	23
Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины .....	24

## 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<b>ПК-3</b> Способность разрабатывать и совершенствовать технологии производства продукции	<b>ПК-3.1</b> Знает технологии переработки нефти	<b>Знать:</b> основные процессы технологии переработки нефти (ЗН-1); <b>Уметь:</b> разрабатывать технологические схемы процессов переработки нефти (У-1); <b>Владеть:</b> навыками разработки новых технологических процессов переработки нефти (Н-1).
<b>ПК-3</b> Способность разрабатывать и совершенствовать технологии производства продукции	<b>ПК-3.2</b> Технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, готовой продукции.	<b>Знать:</b> физико-химические показатели сырья, материалов и готовой продукции (ЗН-2); <b>Уметь:</b> подбирать сырье и материалы в соответствии с техническими требованиями (У-2); <b>Владеть:</b> навыками контроля за соблюдением технических требований, предъявляемых к сырью, материалам и готовой продукции (Н-2).
<b>ПК-3</b> Способность разрабатывать и совершенствовать технологии производства продукции	<b>ПК-3.4</b> Разработка технологической схемы	<b>Знать:</b> правила разработки технологической схемы (ЗН-4); <b>Уметь:</b> вносить изменения в технологические схемы действующих производств (У-4); <b>Владеть:</b> навыками работы со специализированным программным обеспечением при разработке технологических схем (Н-4).

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-3</b> Способность разрабатывать и совершенствовать технологии производства продукции</p>	<p><b>ПК-3.5</b> Разработка технологических проектов производства новой продукции</p>	<p><b>Знать:</b> номенклатуру товарной продукции и направления ее расширения (ЗН-5);</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать исходные данные для разработки производства новой продукции (У-5);</p> <p><b>Владеть:</b> навыками разработки технологических проектов (Н-5).</p>

## **2 Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза» относится к направленности подготовки «Химическая технология основного органического синтеза» и является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.01.01), изучается на 3 и 4 курсах в 5, 6, 7 и 8 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза», умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе обучающегося и при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3 Объем дисциплины

Таблица 2

Вид учебной работы	Всего, академических часов				
	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	ИТОГО
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	6/216	11/396	7/252	2/72	26/936
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>80</b>	<b>224</b>	<b>126</b>	<b>30</b>	<b>460</b>
занятия лекционного типа	36	64	18	-	118
занятия семинарского типа, в т.ч.	36	32	108	18	104
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	36(9)	32(8)	-	18(4)	104
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	-	112(56)	108(54)		212
курсовое проектирование (КР или КП)		16		12	28
КСР	8	-	-	-	16
<b>Самостоятельная работа</b>	100	136	99	42	377
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	-	Кр	-	Кр	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (зачет, экзамен)	экзамен (36)	экзамен (36)	экзамен (27)	-	99



## 4 Содержание дисциплины

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий в 5 семестре

Таблица 3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Лабораторные работы	Семинары и/или практические занятия			
1	Основные соотношения термодинамических функций.	2		2	8	ПК-3	ПК-3.4
2	Точный и приближённый расчёт теплового эффекта реакции и энергии Гиббса.	4		4	12	ПК-3	ПК-3.4
3	Расчет константы равновесия и равновесного состава идеальной и реальной системы	6		6	12	ПК-3	ПК-3.4
4	Расчет тепловых эффектов и равновесного состава реакций промышленных процессов основного органического и нефтехимического синтеза	6		6	16	ПК-3	ПК-3.4
5	Основные понятия о химическом процессе и его характеристики	4		4	12	ПК-3	ПК-3.4
6	Стехиометрический анализ сложных химических реакций	4		6	12	ПК-3	ПК-3.4
7	Кинетический анализ сложных химических реакций	6		4	12	ПК-3	ПК-3.4
8	Радикально-цепные реакции	4		4	16	ПК-3	ПК-3.4

#### 4.1.1 Занятия лекционного типа

Таблица 4

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1	Первое и второе начала термодинамики. Уравнения энергии Гельмгольца и Гиббса. Фундаментальное уравнение химического процесса Гиббса. Связь термодинамических функций между собой. Вычисление функции отклонения от идеального состояния. Определение вероятности протекания реакций крекинга, гидрирования и дегидрирования, алкилирования, изомеризации углеводородов. Температура конверсии.	2	Использование слайд-презентаций, ЛПК
2	Закон Гесса. Теплоты сгорания и образования органических веществ. Расчёт тепловых эффектов химической реакции и веществ по приближённым	4	Использование слайд-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	методам. Расчёт энтропии органических веществ и реакций по термодинамическим таблицам данных и приближёнными методами. Расчёт энергии Гиббса органических веществ и реакций по термодинамическим таблицам данных и приближёнными методами. Уравнение Кирхгофа. Расчёт зависимости энтальпии реакции от температуры и давления.		презентаций, ЛПК
3	Уравнение изотермы химической реакции. Стандартная константа равновесия. Летучесть (фугитивность) и активность вещества. Расчёт коэффициентов летучести (фугитивности) газообразных веществ. Материальный баланс простых по стехиометрии реакций. Расчёт равновесного состава реакционной смеси идеальных систем.	6	Использование слайд-презентаций, ЛПК
4	Материальный баланс сложных по стехиометрии реакций. Расчёт состава последовательных, параллельных и последовательно-параллельных реакций для идеальной и реальной систем. Адиабатические химические процессы, расчёт равновесного состава реакционной смеси. Расчёт тепловых эффектов и равновесных составов для процессов гидрирования, изомеризации, алкилирования углеводородов, реакции на основе оксида углерода.	6	Использование слайд-презентаций, ЛПК
5	Химический процесс, стехиометрия, механизм и маршрут реакции. Простые и сложные по механизму реакции. Связь маршрута реакции с его стехиометрией. Безразмерные характеристики химического процесса: степень превращения (конверсия), интегральная и дифференциальная селективность, выход продукта. Связь кинетики химического процесса с удельной производительностью реактора и селективностью.	4	Использование слайд-презентаций, ЛПК
6	Стехиометрически простые и сложные реакции. Уравнение материального баланса стехиометрически простой и сложной реакции. Стехиометрическая матрица сложной реакции. Выбор стехиометрического базиса - стехиометрически независимых реакций.	4	Использование слайд-презентаций, ЛПК
7	Основные понятия химической кинетики. Скорость реакции по веществу и стехиометрическому уравнению. Кинетическое уравнение химической реакции. Константа скорости и энергия активации. Размерность константы скорости. Элементарные реакции, уравнение константы скорости элементарной реакции. Влияние сольватации на скорость органических реакций. Составление кинетических уравнений на основе схемы механизма химического процесса. Метод Боденштейна-Семенова, Хориути-Темкина. Интегральные формы кинетических уравнений.	6	Использование слайд-презентаций, ЛПК

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	Связь кинетики химического процесса с удельной производительностью реактора и селективностью.		
8	Свободные радикалы. Современные представления о строении и реакционной способности свободных радикалов. Реакции образования свободных радикалов. Радикально-цепные процессы. Элементарные стадии цепного механизма. Зарождение, продолжение и обрыв цепи. Длина цепи. Разветвление цепей. Экспериментальные признаки цепных реакций. Радикально-цепные процессы в промышленности.	4	Использование слайд-презентаций, ЛПК

#### 4.1.2 Практические занятия

Таблица 5

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую	
1,2	Расчёты теплот, констант равновесия, равновесных составов простой реакции в идеальной газовой смеси	6	2	Тренинг
3	Расчёты теплот, констант равновесия, равновесных составов сложных по стехиометрии реакций	6	2	Тренинг
4	Расчёт тепловых эффектов и равновесных составов промышленных процессов органического и нефтехимического синтеза	6	2	КтСм
5,6	Расчет материального баланса простых и сложных реакций	10	1	КтСм
7	Построение кинетических уравнений химических реакций	4	1	КОП
8	Механизмы гомолитических и гетеролитических реакций	4	1	Дебаты

#### 4.1.3 Самостоятельная работа обучающихся

Таблица 6

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1,2	Основные соотношения термодинамических функций	20	Устный опрос
3	Расчет теплового эффекта, энтропии и энергии Гиббса. Зависимость теплоемкости от температуры.	12	Устный опрос
4	Расчет констант равновесия и равновесных составов.	16	Письменный опрос
5	Основные понятия о химическом процессе и его характе-	12	Устный

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	ристики. Реакторы в органическом синтезе.		опрос
6	Стехиометрический анализ сложных химических реакций	12	Устный опрос
7	Кинетический анализ сложных химических реакций	12	Письменный опрос
8	Радикально-цепные реакции	16	Устный опрос

#### 4.2 Разделы дисциплины и виды занятий в 6 семестре

Таблица 7

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Лабораторные работы	Семинары и/или практические занятия			
9	Гомогенно-каталитические реакции	6	8	4	10	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
10	Гетерогенно-каталитические реакции	6	8	4	10	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
11	Понятие о химико-технологическом процессе	2	6	2	8	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
12	Сырьевые источники нефтехимического и органического синтеза. Промышленные способы переработки природного углеводородного сырья	4	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
13	Термические и каталитические процессы переработки углеводородного сырья в продукты для нефтехимического синтеза. Пиролиз. Каталитический крекинг.	6	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
14	Процессы получения ароматических углеводородов. Технологии риформинга.	6	10	4	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
15	Технологии получения низших олефинов, дегидрирование, МТО, МТР, метатезис.	6	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
16	Технологии получения водорода. Синтез-газ.	6	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
17	Технологии процессов оксосинтеза	4	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
18	Гидрогенизационные процессы в нефте-	6	10	2	12	ПК-	ПК-3.1,

	химическом и органическом синтезе. Изомеризация алканов. Процессы дегидрирования.					3	ПК-3.2
19	Технологии процессов окисления	6	10	2	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
20	Технологии процессов алкилирования и алкоксилирования.	6	10	4	12	ПК-3	ПК-3.1, ПК-3.2
		64	112	32	136		

#### 4.2.1 Занятия лекционного типа

Таблица 8

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
9	Катализ, основные понятия и общие закономерности каталитических реакций. Классификация гомогенно-каталитических реакций. Достоинства и недостатки гомогенного катализа. Автокатализ. Кислотный и основной катализ. Реакции, катализируемые кислотами и основаниями, в органической технологии. Металлокомплексный катализ. Катализ и комплексообразование. Реакции промышленного органического синтеза на основе металлокомплексного катализа	6	Слайд-презентации, ЛПК
10	Общая характеристика гетерогенно-каталитических реакций. Классификация гетерогенных катализаторов и их характеристика. Области протекания гетерогенно-каталитических реакций, их признаки. Внешнедиффузионная и внутридиффузионная области реакций в гетерогенном катализе. Модуль Тиле. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций на однородных и неоднородных поверхностях.	6	Слайд-презентации, ЛПК
11	Понятие о химико-технологической системе, химической технологии. Основные показатели, характеризующие химический процесс. Структура химического производства. Системный подход к вопросам качества продуктов нефтехимического синтеза.	2	Слайд-презентации, ЛПК
12	Основные промышленные процессы переработки нефти, угля и газа в базовое сырье для нефтехимического и органического синтеза.	4	Слайд-презентации, ЛПК
13	Характеристика термических и термо-каталитических процессов переработки углеводородов. Химия и технология пиролиза и каталитического крекинга	6	Слайд-презентации, ЛПК
14	Производство ароматических углеводородов на нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводах. Способы выделения индивидуальных аренов из их смесей.	6	Слайд-презентации, ЛПК
15	Производство олефинов C2-C5. Получения олефинов из природного газа.	6	Презентации, ЛПК
16	Способы получения водорода в промышленности. Синтез-газ сырье для нефтехимии.	6	Слайд-презента-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
			ции, ЛПК
17	Технологии получения органических веществ на основе окиси углерода и водорода	4	Слайд-презентации, ЛПК
18	Процессы гидрирования, дегидрирования	6	Презентации, ЛПК
19	Химические основы окисления углеводов. Получение органических веществ в процессах окисления.	6	Слайд-презентации, ЛПК
20	Характеристика и химическое описание процессов алкилирования. С,N,O-алкилирование. Оксиэтилирование и оксипропилирование.	6	Слайд-презентации, ЛПК

#### 4.2.2 Лабораторные занятия

Таблица 9

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую	
11, 12	Получение алканов депарафинизацией нефтяного сырья. Карбамидная депарафинизация керосиновой фракции нефти	16	8	Работа в группах
13, 15	Пиролиз углеводородного сырья. Получение олефинов и водорода.	20	8	Работа в группах
10, 14	Производство аренов риформингом бензиновых фракций. Дегидроциклизация н-октана в проточном реакторе.	18	8	Работа в группах
16, 18	Процессы дегидрирования. Получение ацетона дегидрированием изопропанола	20	8	Работа в группах
9, 20	Процессы алкилирования. Алкилирование толуола.	18	8	Работа в группах
19	Жидкофазное окисление углеводов кислородом	10	8	Работа в группах
17	Процессы дегидратации. Дегидратация изопропанола. Карбонилирование пропилена.	10	8	Работа в группах

#### 4.2.3 Практические занятия

Таблица 10

№ раздела	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
-----------	--	-------------------	---------------------

дисциплины		всего	в том числе на практическую	форма
9	Гомогенные каталитические процессы	4	-	Тренинг
10	Гетерогенные каталитические процессы	4	-	Тренинг
11, 12	Составление материального баланса химического процесса. Расчет конверсии, селективности и выхода продуктов. Стандарты организации (СТО), порядок разработки и применения. Системы управления качеством. Принципы и методы стандартизации.	4	1	Проведение деловых игр
13	Механизм пиролиза углеводородов различных классов. Термодинамика пиролиза. Кинетические особенности термических процессов	2	1	Тренинг
14	Химизм процесса риформинга бензиновых фракций. Катализаторы. Устройство реактора	4	1	Тренинг
15	Получение углеводородов в процессах каталитического крекинга	2	1	Тренинг
16, 17	Промышленные процессы получения водорода. Технологические схемы. Процессы на основе синтез-газа. Технология оксосинтеза	4	1	Проведение деловых игр
18	Технология процессов гидрирования в органическом и нефтехимическом синтезе.	2	1	Тренинг
19	Теоретические основы жидкофазного окисления углеводородов. Примеры практического осуществления реакций, продукты окисления и их применение.	2	1	Тренинг
20	Технология алкилирования алканов и аренов. Технологические схемы процессов оксиэтилирования и оксипропилирования	4	1	Проведение деловых игр

#### 4.2.4 Самостоятельная работа обучающихся

Таблица 11

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
9	Гомогенный металлокомплексный катализ в промышленности	12	Устный опрос
10	Гетерогенные катализаторы в промышленности. Получение и применение.	12	Устный опрос
11, 12	Фракционный состав нефти. Фракционирование попутного нефтяного газа и газового конденсата с получением индивидуальных углеводородов	12	Устный опрос
13	Современное состояние пиролизных производств в России и мире. Установки каталитического крекинга для переработки тяжелого сырья. Катализаторы каткрекинга.	14	Устный опрос
14	Катализаторы риформинга. Способы очистки сырья риформинга от сероводорода. Аминовая очистка	12	Письменный опрос

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
15	Цеолиты. Применение цеолитных катализаторов в процессах получения этилена и пропилена из метанола	12	Устный опрос
16	Способы получения и хранения водорода. Водород как сырье и среда в технологиях нефтехимического и органического синтеза. Способы очистки водорода и окиси углерода от углекислого газа.	14	Устный опрос
17	Гомогенные и гетерогенные каталитические процессы на основе синтез-газа	12	Письменный опрос
18	Гидрогенизационные процессы в нефтегазохимии	12	Устный опрос
19	Жидкофазное окисление органических соединений в присутствии гомогенного катализатора. Радикальные и ионные механизмы окисления органических соединений	12	Письменный опрос
20	Применение алкилатов и продуктов алкоксилирования	12	Устный опрос

#### 4.2.5 Примеры задач для выполнения курсовых работ в 6 семестре

*В реактор риформинга непрерывно подают 2-метилгептан с расходом 100 кг/ч и температурой 150°C. В результате реакции при температуре 500°C образуются о-ксилол и этилбензол. Конверсия по сырью 90%, селективность образования о-ксилола 80%. Составить материальный баланс процесса. Рассчитать минимальное количество тепла (в кВт), необходимого для осуществления риформинга 2-метилгептана*

#### 4.3 Разделы дисциплины и виды занятий в 7 семестре

Таблица 12

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Лабораторные работы	Семинары и/или практические занятия			
21	Технологии процессов конденсации, дегидратации	4	30		20	ПК-3	ПК-3.5
22	Технологии процессов разделения продуктов органического и нефтехимического синтеза.	4	30		20	ПК-3	ПК-3.5
23	Технологии процессов этерификации	4	30		20	ПК-3	ПК-3.5
24	Реакционно-разделительные системы	4	18		20	ПК-	ПК-



						3	3.5
25	Обзорная лекция по процессам нефтехимического и органического синтеза	2	-		19	ПК-3	ПК-3.5

#### 4.3.1 Занятия лекционного типа

Таблица 13

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
21	Технологии процессов конденсации, дегидратации. Технологические особенности ведения процесса.	4	Слайд-презентации, ЛПК
22	Технологии процессов разделения продуктов органического и нефтехимического синтеза.	4	Слайд-презентации, ЛПК
23	Технологии процессов этерификации, гидратации	4	Слайд-презентации, ЛПК
24	Реакционно-разделительные системы. Особенности синтеза органических веществ с применением ректификационных массообменных аппаратов.	4	Слайд-презентации, ЛПК
25	Направления развития процессов нефтехимического и органического синтеза	2	Слайд-презентации, ЛПК

#### 4.3.2 Лабораторные занятия

Таблица 14

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую	
21	Оксипропилирование изопропилового спирта, моноэтанолamina, диэтанолamina, диметилэтанолamina.	20	12	Работа в группах
22	Получение сложных эфиров карбоновых кислот. Перэтерификация, получение глицерина.	20	12	Работа в группах
23	Получение основания Манниха. Конденсация диэтанолamina с формальдегидом. Конденсация алкилфенола с формальдегидом.	20	12	Работа в группах
24	Компьютерное моделирование процесса получения винилхлорида.	20	12	Работа в группах
25	Компьютерное моделирование процессов органического и нефтехимического синтеза	10	6	Работа в группах

#### 4.3.3 Практические занятия

Таблица 15

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
21	Технологические схемы процессов конденсации, дегидрата-	4	Работа в

	ции. Материальный и тепловой баланс технологического процесса.		группах
22	Технологические схемы процессов разделения продуктов органического и нефтехимического синтеза.	4	Работа в группах
23	Технологические схемы процессов этерификации, гидратации. Материальный и тепловой балансы.	4	Работа в группах
24	Компьютерное моделирование реакционно-разделительных процессов.	4	Работа в группах
25	Элементы проектирование процессов нефтехимического и органического синтеза	2	Работа в группах

#### 4.3.4 Самостоятельная работа обучающихся

Таблица 16

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
21	Технологии процессов конденсации, дегидратации. Технологические особенности ведения процесса.	20	Устный опрос
22	Технологии процессов разделения продуктов органического и нефтехимического синтеза.	20	Устный опрос
23	Технологии процессов этерификации, гидратации	20	Устный опрос
24	Реакционно-разделительные системы. Особенности синтеза органических веществ с применением ректификационных массообменных аппаратов.	20	Устный опрос
25	Направления развития процессов нефтехимического и органического синтеза	19	Письменный опрос

#### 4.4 Разделы дисциплины и виды занятий в 8 семестре

Таблица 17

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Лабораторные работы	Семинары и/или практические занятия			
26	Технологические схемы фракционирования сложных углеводородных смесей			4	8	ПК-3	ПК-3.5
27	Технологии выделения индивидуальных ароматических углеводородов из смесей			4	8	ПК-3	ПК-3.5
28	Технология экстрактивной ректификации			4	8	ПК-3	ПК-3.5

29	Массообменные устройства в процессах ректификации органических веществ. Тарельчатые и насадочные колонны.			4	10	ПК-3	ПК-3.5
30	Элементы проектирования ректификационных колонн			2	8	ПК-3	ПК-3.5
				18	42		

#### 4.4.1 Практические занятия

Таблица 18

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую	
26	Технологические схемы фракционирования сложных углеводородных смесей	4	1	Круглый стол
27	Технологии выделения индивидуальных ароматических углеводородов из смесей	4	1	Круглый стол
28	Технология экстрактивной ректификации	4	1	КтСм
29	Массообменные устройства в процессах ректификации органических веществ. Тарельчатые и насадочные колонны.	4	1	Тренинг
30	Элементы проектирования ректификационных колонн	2	-	Дебаты

#### 4.4.2 Самостоятельная работа обучающихся

Таблица 19

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
26	Технологические схемы фракционирования сложных углеводородных смесей	10	Устный опрос
27	Технологии выделения индивидуальных ароматических углеводородов из смесей	8	Устный опрос
28	Технология экстрактивной ректификации	8	Устный опрос
29	Массообменные устройства в процессах ректификации органических веществ. Тарельчатые и насадочные колонны.	8	Устный опрос
30	Элементы проектирования ректификационных колонн	8	Письменный опрос

#### 4.4.3 Примеры задач для выполнения курсовых работ в 8 семестре

*Получение изопропилового спирта из пропилена ведут в адиабатическом реакторе при давлении 0,5МПа. Сырье подают в реактор при температуре 150°C. Для проведения реакции взяли пропан-пропиленовую фракцию с содержанием пропилена 85% моль, смешали с водяным паром и полученную смесь подали в реактор с расходом 440 м<sup>3</sup>/ч при T=150°C и давлении 0,5МПа. Мольное соотношение вода/пропилен равно 5/1. Процесс проводят до достижения равновесия. Константу равновесия принять равной 25. Определить равновесный состав и температуру реакционной массы на выходе из реактора.*

*Используя ресурсы программного комплекса Microsoft Visio, нарисовать технологическую схему производства изопропилового спирта гидратацией пропилена и дать краткое описание технологической схемы.*

### **5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

### **6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине в 5, 6 и 7-ом семестрах проводится в форме экзамена и в 6 и 8-ом семестрах в виде защиты курсовых работ.

В 6 и 8-ом семестрах студент должен защитить выполненную курсовую работу.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами.

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

1. *Очистка от сернистых соединений. Тонкая очистка газов от H<sub>2</sub>S. Осушка газов, характеристика осушителей.*

2. *Паровая конверсия метана и его гомологов в трубчатых печах, парокислородная конверсия в шахтных аппаратах, автотермический риформинг. Схема двухступенчатой каталитической конверсии метана. Некаталитическая высокотемпературная конверсия.*

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

## 7 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Потехин, В.М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: учебник для бакалавров и магистров по направлениям: "Химическая технология" (бакалавры), "Химическая технология" (магистры) / В. М. Потехин, В. В. Потехин. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб.; М; Краснодар: Лань, 2014. - 896 с. ISBN 978-5-8114-1662-2.

2. Лебедев, Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: учебник для химико-технологических спец. вузов / Н. Н. Лебедев. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Альянс, 2013. - 592 с.: ил.; ISBN 978-5-91872-035-6.

3. Тимофеев, В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза : Учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Химическая технология и биотехнология" / В. С. Тимофеев, Л. А. Серафимов, А. В. Тимошенко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 2010. - 408 с.; ISBN 978-5-06-006067-6.

4. Основные процессы нефтехимии: Справочник / Ред. Р. А. Мейерс, пер. с англ. под ред. И. А. Голубевой. - СПб.: Профессия, 2015. - 752 с.; ISBN 978-5-91884-070-2.

5. Капустин, В.М. Технология производства автомобильных бензинов: учебное пособие для бакалавров и магистров вузов, обучающихся по спец. "Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов" / В. М. Капустин. - М.: Химия; М: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2015. - 256 с.; ISBN 978-5-98109-106-3.

6. Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов по спец. "Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов" / С. А. Ахметов. - Уфа: Гилем, 2002. - 671 с.; ISBN: 5-7501-0296-3. <https://search.rsl.ru/ru/record/01004565523>

7. Нефтегазовый комплекс России и первичная переработка нефти / А. А. Гайле [и др.]; [Под ред. А. А. Гайле]. - СПб: Химиздат, 2016. - 448 с; ISBN 978-5-93808-260-1.

8. Гайле, А.А. Ароматические углеводороды: Выделение, применение, рынок / А. А. Гайле, В. Е. Сомов, О. М. Варшавский. - СПб.: Химиздат, 2000. - 543 с; ISBN 5-93808-009-6

### б) электронные учебные издания:

1 Кукурина, О. С. Технология переработки углеводородного сырья : учебное пособие / О. С. Кукурина, А. А. Ляпков. — СПб.: Лань, 2020. — 168 с. — ISBN 978-5-8114-4241-6. <https://e.lanbook.com/book/133887> Режим доступа: по подписке.

2 Арыстанбекова, С. А. Современные методы анализа легкого углеводородного сырья и продуктов его переработки : монография / С. А. Арыстанбекова, М. С. Лапина, А. Б. Волинский. — СПб.: Лань, 2020. — 340 с. — ISBN 978-5-8114-4394-9. <https://e.lanbook.com/book/139290>. Режим доступа: по подписке.

3 Голубева, И. А. Газоперерабатывающие предприятия России : монография / И. А. Голубева, И. В. Мещерин, Е. В. Родина ; под редакцией А. Л. Лapidуса. — 2-е изд., стер. — СПб : Лань, 2021. — 456 с. — ISBN 978-5-8114-7172-0. <https://e.lanbook.com/book/156409>. Режим доступа: по подписке.

4 Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. — 2-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2021. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-2158-9. <https://e.lanbook.com/book/169060>. Режим доступа: по подписке.

5 Смит, В. А. Основы современного органического синтеза : учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. — 5-е изд. — М.: Лаборатория знаний, 2020. — 753 с. — ISBN 978-5-00101-761-5. <https://e.lanbook.com/book/135517>. Режим доступа: по подписке.

6 Москвичев, Ю.А. Теоретические основы химической технологии: учебное пособие/ Ю.А. Москвичев, А.К. Григоричев, О.С. Павлов. — 4-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2020. - 272 с. ISBN 978-5-8114-4983-5 ( <https://e.lanbook.com/book/130185>. Режим доступа: по подписке.

## **8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы:  
<http://media.technolog.edu.ru>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

## **9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Все виды занятий по дисциплине «Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 038-2010. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

плановость в организации учебной работы;

серьезное отношение к изучению материала;

постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

## **10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1 Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- использование мультимедийных средств в лабораторном практикуме
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

#### 10.2 Программное обеспечение

- Microsoft Office (Microsoft Excel);
- Mathcad 14
- Autodesk AutoCAD 2015
- Microsoft Visio
- VMGSim
- Aspen Plus, Hysys

#### 10.3 Базы данных и информационные справочные системы

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

### **11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

<b>Адрес</b>	<b>Наименование оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий</b>	<b>Оснащенность оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий</b>
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств, аудитория №9	Специализированная мебель (40 посадочных мест), доска, демонстрационный экран, компьютер
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра технологии нефтехимических и углехимических производств, аудитория №14	Специализированная мебель (20 посадочных мест), доска, демонстрационный экран, компьютер

### **12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины**

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Химия и технология  
процессов основного органического и нефтехимического синтеза»**

**1 Перечень компетенций и этапов их формирования**

Таблица 16

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-3</b>	Способность разрабатывать и совершенствовать технологии производства продукции	промежуточный



## 2 Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Таблица 17

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-3.1</b> Знает технологии переработки нефти	Знает технологию производства товарной продукции и направления ее совершенствования (ЗН-1);	Правильные ответы на вопросы №1-10 к экзамену	Называет отдельные процессы технологии производства товарной продукции (ЗН-1)	Перечисляет основные процессы технологии производства товарной продукции (ЗН-1)	Показывает знание технологии производства товарной продукции и основных направлений ее совершенствования (ЗН-1)
	Умеет внедрять рационализаторские предложения и изобретения (У-1);	Правильные ответы на вопросы № 11-21 к экзамену	Перечисляет основные признаки рационализаторских предложений и изобретений (У-1);	Отвечает на дополнительные вопросы по порядку внедрения рационализаторских предложений и изобретений (У-1);	Объясняет последовательность действий при внедрении рационализаторских предложений и изобретений (У-1);
	Демонстрирует навыки оформления рационализаторских предложений и изобретений (Н-1).	Правильные ответы на вопросы № 22-30 к экзамену	Демонстрирует знание наименований документов для оформления рационализаторских предложений и изобретений (Н-1).	Демонстрирует знание наименований документов и порядка оформления рационализаторских предложений и изобретений (Н-1).	Показывает навыки оформления рационализаторских предложений и изобретений (Н-1).
<b>ПК-3.2</b> Технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, готовой	Знает передовой отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);	Правильные ответы на вопросы №31-45 к экзамену	Путается в перечислении основных технологических процессов переработки нефти (ЗН-2);	Называет наиболее перспективные процессы переработки нефти (ЗН-2);	Уверенно комментирует отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
продукции.	Анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2);	Правильные ответы на вопросы №46-64 к экзамену	Путается в перечислении последних достижений в области технологии нефти (У-2)	Объясняет сущность последних достижений в области технологии нефти с помощью наводящих вопросов (У-2)	Аргументированно анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2)
	Демонстрирует навыки патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Правильные ответы на вопросы № 65-80 к экзамену	Объясняет цель проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Перечисляет основные правила проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Способен квалифицированно провести патентный поиск и работать с источниками актуальной информации (Н-2).
<b>ПК-3.4</b> Разработка технологической схемы	Знает передовой отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);	Правильные ответы на вопросы №81-95 к экзамену	Путается в перечислении основных технологических процессов переработки нефти (ЗН-2);	Называет наиболее перспективные процессы переработки нефти (ЗН-2);	Уверенно комментирует отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);
	Анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2);	Правильные ответы на вопросы №96-104 к экзамену	Путается в перечислении последних достижений в области технологии нефти (У-2)	Объясняет сущность последних достижений в области технологии нефти с помощью наводящих вопросов (У-2)	Аргументированно анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2)

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Демонстрирует навыки патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Защита курсовой работы в 6 семестре	Объясняет цель проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Перечисляет основные правила проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Способен квалифицированно провести патентный поиск и работать с источниками актуальной информации (Н-2).
<b>ПК-3.5</b> Разработка технологических проектов производства новой продукции	Знает передовой отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);	Правильные ответы на вопросы №105-125 к экзамену	Путается в перечислении основных технологических процессов переработки нефти (ЗН-2);	Называет наиболее перспективные процессы переработки нефти (ЗН-2);	Уверенно комментирует отечественный и зарубежный опыт в области технологии нефти (ЗН-2);
	Анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2);	Защита курсовой работы в 8 семестре	Путается в перечислении последних достижений в области технологии нефти (У-2)	Объясняет сущность последних достижений в области технологии нефти с помощью наводящих вопросов (У-2)	Аргументированно анализирует последние достижения в области технологии нефти (У-2)
	Демонстрирует навыки патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Правильные ответы на вопросы № 126-136 к экзамену	Объясняет цель проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Перечисляет основные правила проведения патентного поиска и работы с источниками актуальной информации (Н-2).	Способен квалифицированно провести патентный поиск и работать с источниками актуальной информации (Н-2).

### 3 Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации

#### 3.1 Контрольные вопросы и задачи для проведения промежуточной аттестации на экзамене в 5 семестре

1. Классификация органических реакций.
2. Основные понятия о химическом процессе и его характеристики.
3. Первый и второй закон термодинамики. Уравнения энергии Гельмгольца и Гиббса.
4. Стандартное состояние. Термодинамическая функция отклонения от идеального состояния.
5. Термодинамическая вероятность протекания химического процесса. Температура инверсии.
6. Методы расчета стандартной энергии Гиббса реакции. Связь термодинамических функций между собой.
7. Закон Гесса. Теплоты сгорания и образования органических веществ.
8. Тепловой эффект химической реакции. Точные и эмпирические методы расчета энтальпии химической реакции.
9. Зависимость энтальпии реакции от температуры и давления.
10. Расчёт энтропии органических веществ и реакций по термодинамическим таблицам данных и приближёнными методами.
11. Уравнение изотермы химической реакции. Стандартная константа равновесия.
12. Понятие фугитивность и активность вещества. Коэффициент фугитивности и активности.
13. Химический процесс, стехиометрия, механизм и маршрут реакции. Простые и сложные по механизму реакции. Связь маршрута реакции с его стехиометрией.
14. Безразмерные характеристики химического процесса: степень превращения (конверсия), интегральная и дифференциальная селективность, выход продукта.
15. Стехиометрически простые и сложные реакции. Выбор стехиометрического базиса и уравнение материального баланса стехиометрически простой и сложной реакции
16. Расчёт равновесного состава реакционной смеси идеальных систем.
17. Расчёт равновесного состава реакционной смеси реальных систем.
18. Расчет состава реакционной смеси адиабатической равновесной реакции.
19. Расчет состава реакционной смеси в идеальном и реальном растворах.
20. Связь термодинамики с кинетикой химической реакции. Активированный комплекс, постулат Хэммонда.
21. Механизмы реакций в органической химии.
22. Основные понятия химической кинетики. Скорость реакции по веществу и стехиометрическому уравнению. Кинетическое уравнение химической реакции. Константа скорости и энергия активации. Размерность константы скорости.
23. Элементарные реакции, уравнение константы скорости элементарной реакции. Влияние сольватации на скорость органических реакций.
24. Составление кинетических уравнений на основе схемы механизма химического процесса. Метод Боденштейна-Семенова, Хориути-Темкина.
25. Составление кинетических уравнений на основе схемы механизма химического процесса. Метод графов.
26. Интегральные формы кинетических уравнений. Связь кинетики химического процесса с удельной производительностью реактора и селективностью.
27. Стехиометрически простые и сложные реакции. Расчёт состава последовательно-параллельных реакций.
28. Стехиометрически простые и сложные реакции. Расчёт состава последовательных реакций.
29. Стехиометрически простые и сложные реакции. Расчёт состава параллельных реакций.

30. Свободные радикалы. Современные представления о строении и реакционной способности свободных радикалов. Реакции образования свободных радикалов.
31. Мономолекулярные реакции свободных радикалов. Распад и изомеризация свободных радикалов. Бимолекулярные реакции свободных радикалов. Реакции радикалов с молекулами. Правило Поляни-Семенова.
32. Радикально-цепные процессы. Элементарные стадии цепного механизма. Зарождение, продолжение и обрыв цепи. Длина цепи. Разветвление цепей. Экспериментальные признаки цепных реакций.
33. Кинетика и механизм радикально-цепных неразветвленных реакций.
34. Радикально-цепные процессы в промышленности.
35. Химические реакторы и их удельная производительность. Реактор идеальный периодический и его характеристическое уравнение.
36. Химические реакторы и их удельная производительность. Реактор полного смешения и его характеристическое уравнение.
37. Химические реакторы и их удельная производительность. Реактор идеального вытеснения и его характеристическое уравнение.
38. Связь кинетики химического процесса с удельной производительностью реактора и селективностью. Влияние концентраций (парциальных давлений), конверсии и температуры на удельную производительность реакторов и селективность сложных реакций.
39. Сравнительный анализ реакторов по их производительности.
40. Химические реакторы и их удельная производительность. Реактор полного смешения.
41. В реакторе протекают следующие реакции:  

$$\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$$

$$2\text{CO} + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

$$2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

$$4\text{CO} + 8\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O}$$
 рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 120 моль/ч монооксида углерода, селективности образования диметилового эфира и бутанола по CO составляют соответственно 0.02 и 0.08, а мольные потоки водорода и CO после реактора равны, соответственно, 120 и 80 моль/ч.
42. В реакторе протекают следующие реакции:  

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{p-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl} + \text{HCl}$$

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{o-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl} + \text{HCl}$$

$$\text{p-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2,4\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_2 + \text{HCl}$$

$$\text{o-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2,4\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_2 + \text{HCl}$$

$$\text{o-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2,6\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_2 + \text{HCl}$$
 рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 100 моль/ч толуола и 100 моль/ч хлора, а выходы пара-, орто-, 2,4- и 2,6-изомеров по толуолу равны, соответственно 0.3, 0.24, 0.15 и 0.08.
43. В реакторе протекают следующие реакции:  

$$\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{ClCHCl}_2 + \text{HCl}$$

$$\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCl} + \text{HCl}$$

$$\text{CH}_2=\text{CHCl} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{ClCHCl}_2$$

$$\text{CH}_2\text{ClCHCl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2 + \text{HCl}$$

$$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$$

$$\text{CH}_2\text{ClCHCl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 + \text{HCl}$$

$$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 \rightarrow \text{CHCl}=\text{CCl}_2 + \text{HCl}$$

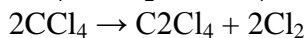
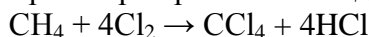
$$\text{CHCl}=\text{CCl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{HCl}_5$$

$$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{HCl}_5 + \text{HCl}$$

$$\text{C}_2\text{HCl}_5 \rightarrow \text{CCl}_2=\text{CCl}_2 + \text{HCl}$$

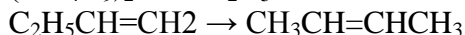
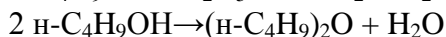
рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 100 моль/ч дихлорэтана и 205 моль/ч хлора, а выходы винилхлорида, трихлорэтана, дихлорэтилена, тетрахлорэтана, трихлорэтилена, пентахлорэтана и тетрахлорэтилена равны, соответственно, 0,01, 0,005, 0,015, 0,01, 0,32, 0,01 и 0,44.

44. В реакторе протекают следующие реакции:



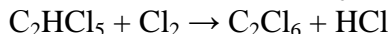
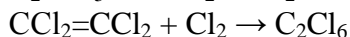
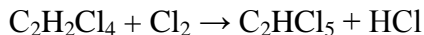
рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 60 моль/ч хлора. Степень конверсии метана равна единице, а выходы тетрахлорметана, тетрахлорэтана и гексахлорбензола по хлору равны, соответственно, 50 %, 44 % и 1 %.

45. В реакторе протекают следующие реакции:



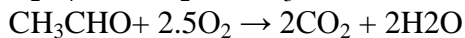
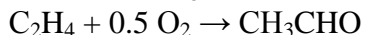
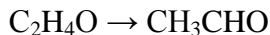
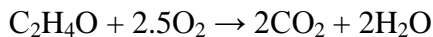
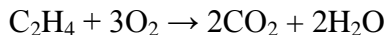
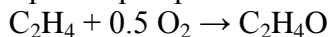
рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 120 моль/ч н-бутанола. Степень конверсии его составляет 0,95, селективность образования бутена-1 - 0,9, бутена -2 - 0,05

46. В реакторе протекают следующие реакции:



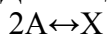
рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 50 моль/ч тетрахлорэтана и 34 моль/ч хлора, степень конверсии тетрахлорэтана составляет 0,92, а выходы трихлорэтилена, тетрахлорэтилена и гексахлорэтана равны, соответственно, 0,28, 0,60, и 0,02.

47. В реакторе протекают следующие реакции:



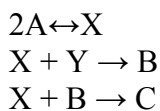
рассчитать материальный баланс процесса, если в реактор подают 150 моль/ч этилена при мольном отношении кислорода к этилену  $\beta = 0,60$ , степень конверсии этилена составляет 0,4, селективность образования этиленоксида равна 0,69 и ацетальдегида 0,01.

48. Для следующей схемы элементарных стадий:



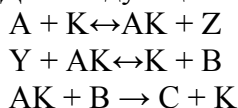
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам B и C ( $dc_B/dt$  и  $dc_C/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_B$  и  $c_C$ ), имея в виду, что промежуточные частицы X образуются в пренебрежимо малой концентрации.

49. Для следующей схемы элементарных стадий:



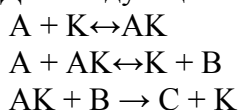
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам B и C ( $dc_B/dt$  и  $dc_C/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_B$  и  $c_C$ ), имея в виду, что промежуточные частицы X образуются в пренебрежимо малой концентрации.

50. Для следующей схемы элементарных стадий:



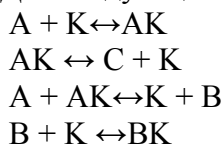
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам A и B ( $-dc_A/dt$  и  $dc_B/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_A$  и  $c_B$ ), имея в виду, что  $c_K \ll c_{i,0}$ , равновесие устанавливается быстро и  $c_{i,0}$  известны.

51. Для следующей схемы элементарных стадий:



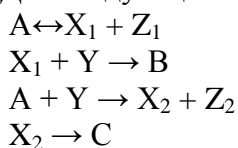
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам A и B ( $-dc_A/dt$  и  $dc_B/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_A$  и  $c_B$ ), имея в виду, что  $c_K \ll c_{i,0}$ , равновесие устанавливается быстро и  $c_{i,0}$  известны.

52. Для следующей схемы элементарных стадий:



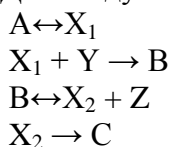
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам A и B ( $-dc_A/dt$  и  $dc_B/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_A$  и  $c_B$ ), имея в виду, что  $c_K \ll c_{i,0}$ , равновесие устанавливается быстро и  $c_{i,0}$  известны.

53. Для следующей схемы элементарных стадий:



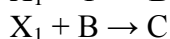
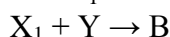
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам B и C ( $dc_B/dt$  и  $dc_C/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_B$  и  $c_C$ ), имея в виду, что промежуточные частицы X образуются в пренебрежимо малой концентрации.

54. Для следующей схемы элементарных стадий:



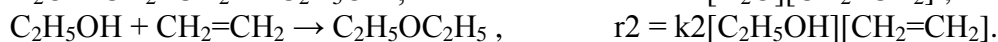
вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам B и C ( $dc_B/dt$  и  $dc_A/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_B$  и  $c_A$ ), имея в виду, что промежуточные частицы X образуются в пренебрежимо малой концентрации.

55. Для следующей схемы элементарных стадий:



вывести кинетическое уравнение, записать уравнение скоростей превращения по веществам B и C ( $dc_B/dt$  и  $dc_A/dt$ ), преобразовать их в концентрационную форму как функцию только двух переменных ( $c_B$  и  $c_A$ ), имея в виду, что промежуточные частицы X образуются в пренебрежимо малой концентрации.

56. В проточном реакторе полного смешения идут реакции:



Соотношение констант скоростей  $k_2/k_1 = 0.5$ , а соотношения потоков воды и этилена на входе в реактор равно 4.

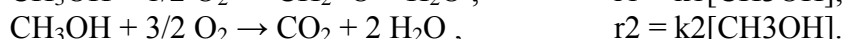
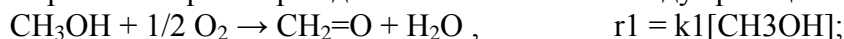
Вычислить конверсию этилена и селективность образования этилового спирта по этилену, если конверсия воды составляет 20 %.

57. В проточном реакторе полного смешения идут реакции:



Начальный поток  $C_2H_5OH$  составляет 10 моль/ч, начальная концентрация  $[C_2H_5OH]_0 = 5$  моль/л. Рассчитать мольные потоки на выходе из реактора, если степень конверсии этанола 70 % и  $k_2/k_1 = 0.1$ .

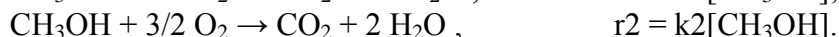
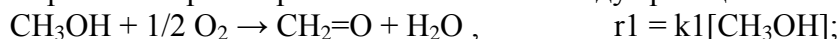
58. В проточном реакторе идеального вытеснения идут реакции:



Потоки метанола и воды на входе в реактор составляют соответственно 10 моль/ч и 100 моль/ч, соотношение  $k_2/k_1 = 0.2$ .

Какой должен быть поток кислорода на входе в реактор, чтобы на выходе его концентрация не превышала 3 %, а степень конверсии метанола в аппарате составляла 90 %.

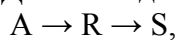
59. В проточном реакторе полного смешения идут реакции:



Потоки метанола и воды на входе в реактор составляют соответственно 10 моль/ч и 100 моль/ч, соотношение  $k_2/k_1 = 0.2$ .

Какой должен быть поток кислорода на входе в реактор, чтобы на выходе его концентрация не превышала 3 %, а степень конверсии метанола в аппарате 90 %.

60. Для последовательных реакций:



$$r_1 = 1.66 \cdot 10^{-3}[A] \text{ моль/(л·с)},$$

$$r_2 = 1.66 \cdot 10^{-3}[R] \text{ моль/(л·с)},$$

протекающих в проточном реакторе полного смешения, определить степень конверсии и селективность образования целевого продукта R, мольные потоки продуктов R и S и объем реактора для обеспечения максимального выхода продукта R, если  $[A]_0 = 1$  моль/л, поток  $F_{A,0} = 2.8 \cdot 10^{-5}$  кмоль/с.

### 3.2 Задачи для выполнения курсовой работы в 6 семестре

#### Задача №1

Получение изопропилового спирта из пропилена ведут в адиабатическом реакторе при давлении 0,5МПа. Сырье подают в реактор при температуре 150°C. Для проведения реакции взяли пропан-пропиленовую фракцию с содержанием пропилена 85% моль, смешали с водяным паром и полученную смесь подали в реактор с расходом 440 м<sup>3</sup>/ч при



$T=150^{\circ}\text{C}$  и давлении  $0,5\text{МПа}$ . Мольное соотношение вода/пропилен равно  $5/1$ . Процесс проводят до достижения равновесия. Константу равновесия принять равной  $25$ . Определить равновесный состав и температуру реакционной массы на выходе из реактора.

#### Задача №2

В результате пиролиза  $224\text{ кг}$  газового сырья, состоящего из этана  $75\%$  (моль), пропана  $20\%$  (моль) и бутана  $5\%$  (моль), образовалась смесь, содержащая соответствующие олефины, 2-метилпентан и водород. Конверсия этана составила  $60\%$ , пропана –  $30\%$ , бутана –  $20\%$ . Селективность образования пропилена из пропана  $90\%$ . Составить материальный баланс, рассчитать тепло (в Дж) необходимое для проведения пиролиза при температуре  $800^{\circ}\text{C}$ .

#### Задача №3

В реактор метанизатор для очистки газа паровой конверсии метана от  $\text{CO}$  подали смесь, состоящую из водорода  $94\%$  (моль) и окиси углерода  $6\%$  (моль), с расходом  $130\text{ м}^3/\text{ч}$  при  $225^{\circ}\text{C}$  и  $1\text{МПа}$ . Конверсия окиси углерода равна  $100\%$ . Определить состав газа на выходе из реактора, количество выделившегося тепла (в кВт). Предложить способ выделения образовавшейся воды из смеси газов, используя тепло целевой химической реакции.

#### Задача №4

Для получения водорода методом паровой конверсии в реактор подали  $560\text{ м}^3/\text{ч}$  природного газа, состоящего из метана  $94\%$  моль и этана - остальное. Конверсия метана составила  $98\%$ . Наряду с окисью углерода образовался углекислый газ, содержание которого в выходном потоке  $5\%$  моль. Определить состав (в кг) полученного газа. Определить массу  $25\%$ -ого раствора гидроксида натрия необходимо для очистки образовавшегося водорода содержащего газа  $\text{CO}_2$ .

#### Задача №5

В промышленности метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) получают из метанола и изобутилена. Определить, сколько надо взять бутана и метанола для производства  $2,5$  тонн МТБЭ, если:

Конверсия изобутана при получении изобутилена равна  $96\%$ .

Выход изобутилена определяется равновесием бутен-1/изобутилен. Температура процесса получения изобутилена  $210^{\circ}\text{C}$ .

Выход МТБЭ определяется равновесием в реакции изобутилена с метанолом. Константу равновесия реакции принять численно равной константе равновесия при температуре  $298\text{K}$ .

#### Задача №6

В процессе каталитического крекинга  $12$  тонн диметилового эфира (ДМЭ) получили 2-метилбутен-2, метанол и воду. Селективность по олефину  $35\%$ . Определить конверсию ДМЭ и материальный состав продуктов реакции, если температура адиабатического разогрева реактора была  $50^{\circ}\text{C}$ . Процесс каткрекинга ДМЭ проходит при средней температуре в реакторе  $420^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкость реакционной смеси принять равной теплоемкости ДМЭ при средней температуре процесса.

#### Задача №7

В процессе риформинга сырья, состоящего из  $150\text{ кг}$  метилциклопентана и  $100\text{ кг}$  водорода, образовался бензол и циклогексан. Узел синтеза представляет собой каскад из трех последовательно установленных реакторов. Конверсия метилциклопентана в каждом реакторе равна:  $70\%$ ,  $85\%$  и  $90\%$ , соответственно. Селективность образования бензола в первом реакторе  $97\%$ , во втором –  $93\%$  и в третьем –  $85\%$ . Найти общую конверсию метилциклопентана, рассчитать материальный состав потока после каждого реактора риформинга. Рассчитать тепловой эффект реакции в первом реакторе при температуре  $520^{\circ}\text{C}$ .

#### Задача №8

В процессе «Суclar» из пропан содержащего сырья была получена углеводородная смесь, содержащая 27% масс. бензола, 43% масс. толуола, 21% масс. ксилола и 9% масс. изопропилбензола массой 1 тонна. Найти, какой объем (нормальных м<sup>3</sup>) пропана был взят для проведения процесса, конверсию пропана, а также массу образовавшегося водорода.

#### Задача №9

Для проведения парциального окисления метана кислородом воздуха взяли 120 нормальных м<sup>3</sup> метана. Мольный избыток метана по отношению к кислороду в воздушной смеси составил 10. В результате окисления была получена смесь, содержащая метан, окись углерода, диоксид углерода, водород и азот. Конверсия кислорода равна 100%, а селективность процесса по образованию СО – 93%. Рассчитать материальный баланс процесса и количество выделившегося тепла.

#### Задача №10

Рассчитайте равновесный состав паровой конверсии метана при 1000К, молярном соотношении метан/вода равном ¼ и атмосферном давлении. Расход метана 400 м<sup>3</sup>/ч (при 1000К и 0,1МПа). Система газов идеальная. Найти тепловой эффект реакции.

#### Задача №11

Рассчитайте равновесный состав дегидрирования н-бутана в смесь бутенов при 400К и 800К и давлении 0,3МПа. Для проведения реакции дегидрирования взяли 100 м<sup>3</sup> бутана. При какой температуре выход олефинов будет больше. Рассчитайте тепловой эффект реакции при температуре 400К.

#### Задача №12

Рассчитайте равновесный состав в реакции метатезиса этилена с бутеном-1 при температуре 400К и 600К, мольном расходе этилена 120м<sup>3</sup>/ч, мольном соотношении C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>=1/3 и атмосферном давлении. При какой температуре выход пропилена будет наибольший?

#### Задача №13

При алкилировании бензола этиленом при 400К протекают реакции с образованием этилбензола, диэтилбензола и реакция диспропорционирования.

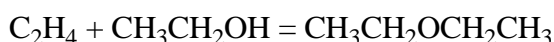
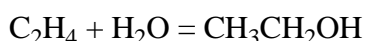
Привести материальный расчет процесса при условии: начальный молярный поток этилена равен 100 кмоль/ч, начальное молярное соотношение этилен/бензол=1/5, конверсия этилена равна 100%, селективность образования этилбензола равна 95%. Определить тепловой эффект реакции при 400К.

#### Задача №14

В процессе каталитического крекинга октана при температуре 500К образуются легкие углеводороды (пропилен, бутены, пентен, метан) и кокс, отлагающийся на катализаторе. Выход кокса составляет 5%. Определить, расход пара в реакторе-регенераторе для удаления кокса со степенью превращением последнего равной 99%. Начальный поток октана на входе в реактор каткрекинга 100 кмоль/ч. Конверсия октана равна 100%. Определить количество тепла (в кВт), которое выделится в реакции удаления кокса в регенераторе.

#### Задача №15

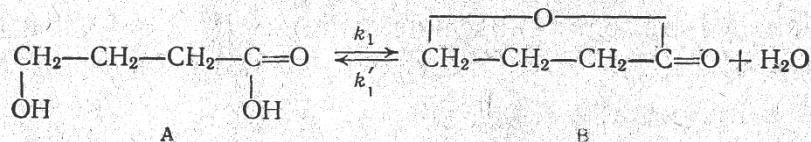
При прямой гидратации этилена протекают следующие реакции:



Провести материальный расчет процесса при условиях: начальный молярный поток этилена равен 150 кмоль/ч, начальное молярное соотношение этилен/вода=1/0.75, конверсия этилена равна 8%, селективность по спирту 0,95, выход диэтилового эфира 0,15%. На основании данных материального баланса рассчитать тепловой эффект процесса.

### Задача №16

1-3. При исследовании реакции лактонизации  $\gamma$ -оксибутановой кислоты



была получена следующая зависимость концентрации кислоты от времени:

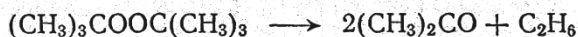
Время $\tau \cdot 10^{-3}$ , с	0	1,2	3,0	4,8	7,2	9,0	12	15	18
Концентрация вещества А, г/л	18,5	16,2	13,4	11,3	9,3	8,3	7,1	6,3	5,8

Начальная концентрация вещества А равна 18,5 г/л, равновесная его концентрация 5,0 г/л. Реакция проводилась при 25 °С. В исходной смеси продукт В отсутствовал.

Определить константы скорости прямой и обратной реакций и константу равновесия.

### Задача №17

Для газофазной реакции разложения ди-*трет*-бутилпероксида



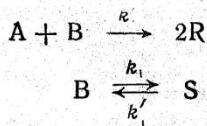
при 154,6 °С получена следующая зависимость общего давления  $p$  от времени:

$\tau \cdot 10^{-3}$ , с	0	0,120	0,180	0,30	0,36	0,48	0,54	0,66
$p \cdot 10^{-4}$ , Па	2,31	2,50	2,58	2,73	2,82	2,97	3,04	3,18
$\tau \cdot 10^{-3}$ , с	0,72	0,84	0,90	1,02	1,08	1,2	1,26	$\infty$
$p \cdot 10^{-4}$ , Па	3,25	3,39	3,45	3,58	3,66	3,76	3,82	6,55

Определить порядок реакции по разлагающемуся веществу и константу скорости.

### Задача №18

Реакция



проводится в реакторе идеального смешения с рециклом (рис. 2-12). Константы скорости реакции по веществу А:  $k_1 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $k'_1 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $k_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1} (\text{кмоль} \cdot \text{м}^{-3})^{-1}$ . В начальный момент времени  $C'_{\text{S}_0} = C'_{\text{R}_0} = 0$ .

Плотность реакционной смеси постоянна. Общая скорость подачи  $v_0 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . Отношение объемной скорости рецикла к общей скорости подачи равно 0,20. Объем реактора  $V = 1,6 \text{ м}^3$ . Начальные концентрации исходных веществ  $C'_{\text{A}_0} = 1,05 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ ,  $C'_{\text{B}_0} = 2,40 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Определить концентрацию продукта R и производительность системы по продукту R.

### Задача №19

Реакция  $A + B \xrightarrow{k_A} 2R$ , где  $k_A = 6,01 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1} (\text{кмоль} \cdot \text{м}^{-3})^{-1}$ , проходит в реакторе идеального вытеснения с рециклом (рис. 2-14). Плотность реакционной смеси не меняется. Продукт в исходном растворе отсутствует. Концентрации веществ:  $C'_{A_0} = 0,08 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $C''_{A_0} = 0,08 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $C'_{B_0} = 0$ ;  $C_{R_0} = 0$ . Производительность реактора по веществу R составляет  $C_R = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль} \cdot \text{с}^{-1}$ . Объем реактора  $V = 1,2 \text{ м}^3$ . Отношение концентраций веществ, поступающих в реактор,  $M = C_{B_0}/C_{A_0} = 3,4$ .

Определить объемную скорость рецикла и производительность схемы по веществу A и веществу B.

#### Задача №20

Определить производительность системы по сырью для реакции второго порядка  $A + B \xrightarrow{k} R + S$ . Константа скорости реакции  $k = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1} (\text{кмоль} \cdot \text{м}^{-3})^{-1}$ . Начальные концентрации веществ  $C_{A_0} = C_{B_0} = 7 \cdot 10^{-2} \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ . Концентрация вещества A на выходе из системы равна  $C_A = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ . Рассмотреть параллельное и последовательное соединения реактора идеального смешения ( $V = 0,8 \text{ м}^3$ ) и реактора идеального вытеснения ( $V = 0,2 \text{ м}^3$ ).

#### Задача №21

В реакторе идеального смешения при адиабатических условиях проходит реакция  $A + B \xrightarrow{k_A} 2R + D$ , где R — продукт. Константа скорости реакции равна  $k_A = 4,8 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{10200}{T}\right) \text{ с}^{-1} (\text{кмоль} \cdot \text{м}^{-3})^{-1}$ .

Реакция протекает эндотермически с тепловым эффектом, равным  $\Delta H_r = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Дж} (\text{кмоль A})^{-1}$ , при начальных концентрациях  $C_{A_0} = 6,5 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$  и  $C_{B_0} = 10,5 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ . Теплоемкость реакционной смеси  $c_p = 3,05 \cdot 10^3 \text{ Дж} (\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$ , плотность  $\rho = 1190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура смеси на входе  $t_{\text{вх}} = 38^\circ \text{C}$ , на выходе  $t_{\text{вых}} = 15^\circ \text{C}$ .

Определить производительность по продукту, если объем реактора равен  $V = 2,6 \text{ м}^3$ .

#### Задача №22

В реакторе идеального вытеснения, работающем в адиабатических условиях, проходит жидкофазная реакция первого порядка  $2A \xrightarrow{k_A} B$ . Начальные концентрации веществ:  $C_{A_0} = 3,2 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $C_B = 0$ . Температура исходной смеси  $T_{\text{вх}} = 325 \text{ К}$ , температура на выходе из реактора  $T_{\text{вых}} = 357 \text{ К}$ . Тепловой эффект реакции ( $-\Delta H_r$ )  $= 2 \cdot 10^7 \text{ Дж} (\text{кмоль A})^{-1}$ . Теплоемкость реакционной смеси  $c_p = 2,2 \cdot 10^3 \text{ Дж} (\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$ , плотность  $\rho = 850 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Константа скорости реакции по веществу A равна  $k_A = 10^{13} \exp\left(-\frac{12000}{T}\right) \text{ с}^{-1}$ . Объем реактора  $V = 1,26 \text{ м}^3$ .

Рассчитать производительность реактора по продукту.

### Задача №23

Необратимая реакция первого порядка  $A + B \longrightarrow R$  (вещество В — в избытке) протекает в цепочке трех равных по объему реакторов идеального смешения. Константа скорости реакции  $k = 2 \cdot 10^8 \exp\left(-\frac{7900}{T}\right) \text{ с}^{-1}$ . Тепловой эффект реакции не зависит от температуры и равен  $(-\Delta H_r) = 6,5 \cdot 10^7 \text{ Дж(кмоль A)}^{-1}$ . Начальная концентрация вещества А  $C_{A_0} = 0,5 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ , конечная  $C_{A_f=3} = 0,02 \text{ кмоль} \cdot \text{м}^{-3}$ . Реакционная смесь имеет теплоемкость  $c_p = 2400 \text{ Дж(кг} \cdot \text{К)}^{-1}$ , плотность  $\rho = 850 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  и подается в первый реактор при температуре  $t_0 = 5^\circ\text{C}$ . Скорость подачи равна  $v_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Определить, какое количество теплоты надо отводить (или подводить) от каждого реактора, если в них поддерживать разную температуру, равную, соответственно,  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 25^\circ\text{C}$  и  $t_3 = 35^\circ\text{C}$ .

### Задача №24

Жидкофазная необратимая реакция первого порядка  $2A \xrightarrow{k} B$  проходит в реакторе идеального смешения, работающем в адиабатических условиях. Константа скорости реакции (по веществу А) равна  $k = 10^{13} \exp\left(-\frac{12000}{T}\right) \text{ с}^{-1}$ . Тепловой эффект реакции  $(-\Delta H_r) = 2 \cdot 10^7 \text{ Дж(кмоль A)}^{-1}$ . Теплоемкость реакционной смеси  $c_p = 2,2 \cdot 10^3 \text{ Дж(кг} \cdot \text{К)}^{-1}$ , плотность  $\rho = 850 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Реакция проводится при температуре на входе  $T_{\text{вх}} = 310 \text{ К}$  и на выходе  $T_{\text{вых}} = 362 \text{ К}$ . Скорость подачи  $v_0 = 10^{-2} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Определить производительность реактора по исходному веществу и по продукту, если объем реактора равен  $V = 10 \text{ м}^3$ .

### 3.3 Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации на экзамене в 6 семестре

61. Основные аспекты гомогенного катализа. Гомогенный кислотно-основной катализ.
62. Металлокомплексный гомогенный катализ. Роль металлов переменной валентности в качестве катализаторов. Примеры промышленных гомогенно-каталитических процессов.
63. Основные аспекты гетерогенного катализа. Явление адсорбции в гетерогенном катализе.
64. Гетерогенные катализаторы: структура, свойства, применение. Гетерогенный катализ в промышленных процессах органического и нефтехимического синтеза.
65. Современные катализаторы для нефтехимического и органического синтеза. Структура, свойства.
66. Цеолиты. Способы получения, структура. Применение в нефтепереработке и нефтехимическом синтезе.
67. Химико-технологическая система. Основные понятия и показатели технологического процесса.
68. Характеристика источников углеводородного сырья. Природные, попутные газы, газы газоконденсатных месторождений, нефтезаводские газы.
69. Способы очистки и разделения низкомолекулярных парафинов на ГПЗ. Очистка от сернистых соединений. Тонкая очистка газов от  $\text{H}_2\text{S}$ . Сушка газов, характеристика осушителей.
70. Термодинамика высокотемпературных превращений углеводородов различных классов. Пиролиз углеводородного сырья. Влияние сырья пиролиза на выход олефинов  $\text{C}_2\text{-C}_4$ .
71. Кинетика и механизм пиролиза углеводородов. Основные виды сырья пиролиза, роль водяного пара.
72. Технологическая схема процесса пиролиза газообразного и жидкого сырья. Подго-

- товка сырья к пиролизу.
73. Принципиальная технологическая схема пиролиза бензина. Характеристика работы и устройство основного оборудования. Выход и состав продуктов, показатели работы установки.
  74. Методы очистки газов пиролиза от тяжелых углеводородов, сернистых соединений, влаги и ацетилена. Разделение газов пиролиза, схема выделения олефинов высокой степени чистоты. Хранение и транспортировка олефинов.
  75. Структура производства и потребления олефинов. Каталитический крекинг. Установки для проведения процесса каталитического крекинга.
  76. Реакции каталитического крекинга. Катализаторы процесса.
  77. Схема работы узла лифт-реактор – регенератор. Материальный и тепловой баланс реакторного блока, характеристика продуктов.
  78. Процессы получения олефинов из метанола. Технология МТО и МТР.
  79. Диспропорционирование олефинов (Метатезис олефинов).
  80. Высшие олефины, основные направления их использования в органическом синтезе. Получение высших олефинов каталитическим дегидрированием парафинов, олигомеризацией этилена.
  81. Получение низших олефинов каталитическим дегидрированием. Схема и показатели процесса "олефлекс".
  82. Структура производства и потребления ароматических углеводородов. Процессы производства ароматических углеводородов и их важнейших производных: моноциклоаренов, полициклоаренов, полиаренов.
  83. Каталитический риформинг нефтяных фракций. Сырье риформинга. Основные реакции, сопровождающие риформинг. Катализаторы риформинга.
  84. Влияние технологических параметров процесса риформинга на выход и состав продуктов. «Cyclar» – процесс.
  85. Принципиальная технологическая схема риформинга. Риформинг на стационарном катализаторе и с движущимся слоем катализатора.
  86. Селективные экстрагенты для извлечения ароматических углеводородов из бензиновых фракций. Безэкстракционный метод выделения ксилолов.
  87. Гидроочистка. Назначение, технологическая схема, химическое описание процесса, катализаторы.
  88. Гидрокрекинг. Назначение процесса. Химия процесса гидрокрекинга. Катализаторы.
  89. Сырье гидрокрекинга. Технологические особенности проведения процесса гидрокрекинга.
  90. Паровая конверсия метана и его гомологов в трубчатых печах, парокислородная конверсия в шахтных аппаратах, автотермический риформинг. Схема двухступенчатой каталитической конверсии метана. Некаталитическая высокотемпературная конверсия.
  91. Получение водорода. Очистка водорода от оксидов углерода. Конверсия оксида углерода, процесс метанирования.
  92. Синтез-газ. Основные направления использования синтез-газа, оксида углерода и водорода. Термодинамика превращения углеводородов с водяным паром. Катализаторы, способы очистки сырья от сернистых соединений.
  93. Технология производства метанола.
  94. Оксосинтез. Процессы карбонилирования органических соединений. Технология производства уксусной кислоты.
  95. Гомогенные и гетерогенные каталитические процессы гидрирования в органическом и нефтехимическом синтезе.
  96. Основные направления использования парафинов  $C_{5+}$ . Назначение и сущность про-

- цессов изомеризации  $C_5$ ,  $C_6$  парафинов. Ресурсы сырья, параметры процесса и их обоснование. Технологическая схема процесса изомеризации.
97. Жидкофазное гомогенное и гетерогенное каталитическое окисления углеводородов. Примеры практического осуществления реакций, продукты окисления и их применение.
  98. Окисление органических соединений в присутствии азотной кислоты. Технология процессов газофазного и жидкофазного нитрования. Характеристика продуктов и их использование.
  99. Технология окисления циклогексана в циклогексанол и циклогексанон.
  100. Промышленные способы производства оксида пропилена. Химическое описание процесса, технология.
  101. Технология производства окиси этилена окислением этилена кислородом. Принципиальная технологическая схема синтеза этиленгликолей.
  102. Получение моноэтиленгликоля из углеродного сырья.
  103. Окислительный аммонолиз. Производство синильной кислоты и нитрилов.
  104. Классификация реакций алкилирования. Алкилирующие агенты и катализаторы. Энергетические характеристики основных реакций алкилирования.
  105. Алкилирование изопарафинов олефинами. Химизм реакций. Обоснование выбора технологических параметров при использовании в качестве катализаторов  $H_2SO_4$  и  $NF$ .
  106. Алкилирование по атому кислорода, получаемые продукты, их применение. Синтез метилтретбутилового эфира. Влияние технологических параметров на полноту О-алкилирования. Схема получения МТБЭ, пути совершенствования процесса.
  107. Алкилирование по атому азота. Синтез аминов реакциями алкилирования аммиака спиртами. Термодинамика и механизм реакции. Последовательно-параллельное образование продуктов.
  108. Процессы оксиалкилирования. Теоретические основы процесса. Закономерности последовательного оксиэтилирования. Продукты, получаемые из  $\alpha$ -оксидов.
  109. Конструкции реакционных аппаратов процессов алкоксилирования.
  110. Технология процессов оксиэтилирования аминов и спиртов.
  111. Технология оксипропилирования. Блок сополимеризация окиси этилена и окиси пропилена.
  112. Качество. Определение. Системы качества. Показатели качества продуктов нефтехимического синтеза. Порядок разработки Технического регламента.
  113. Стандартные образцы. Классификация стандартных образцов. Поверка и калибровка средств измерений. Погрешность измерения.

#### **3.4 Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации на экзамене в 7 семестре**

114. Поверхностно-активные вещества. Основные принципы технологии получения неионогенных ПАВ.
115. Поверхностно-активные вещества. Основные принципы технологии получения катионных ПАВ.
116. Процессы гидратации и дегидратации. Термодинамика, кинетика и механизм реакций.
117. Прямая гидратация олефинов. Катализаторы. Влияние концентрации катализатора, температуры, давления и соотношения компонентов в исходной смеси на выход спиртов.
118. Технологическая схема прямой гидратации этилена и пропилена.

119. Научные основы дегидратации спиртов и кислот. Реакционные устройства для газофазной и жидкофазной дегидратации. Производство диметилового эфира.
120. Сульфатирование спиртов и олефинов, химия и научные основы процессов, получаемые продукты и побочные реакции.
121. Технология получения алкилсульфатов. Устройство реактора. Недостатки сульфатирования серной кислотой.
122. Химия и научные основы сульфохлорирования и сульфоокисления парафинов. Основы технологии. Достоинства и недостатки методов.
123. Процессы сульфирования. Химия и технология сульфирования олефинов и ароматических соединений серной кислотой, олеумом и серным ангидридом. Характеристика продуктов, побочные реакции.
124. Этерификация. Термодинамика, кинетика и механизм реакций этерификации. Реакционные устройства жидкофазных процессов этерификации. Образование эфиров под действием гомогенных и гетерогенных катализаторов.
125. Химия и технология процессов амидирования, переэтерификации.
126. Промышленное производство глицерина. Хлорный метод. Переэтерификация жиров.
127. Классификация реакций по карбонильной группе. Применение продуктов конденсации в органическом синтезе.
128. Конденсация альдегидов и кетонов с ароматическими соединениями, механизм реакции. Технология производства дифенилолпропана.
129. Реакции типа альдольной конденсации. Химия и научные основы конденсации. Технология процесса получения кротонового альдегида.
130. Технология процессов альдольной конденсации. Синтез метилизобутилкетона (МИБК), влияние условий на выход продукта. Усовершенствование процесса получения МИБК.
131. Химия и научные основы синтеза ацеталей. Реакции Принса. Влияние технологических параметров на селективность образование диметилдиоксана и изопрена при двухстадийном синтезе.
132. Принципиальная схема получения изопрена из изобутилена и формальдегида.
133. Гидролиз и щелочное дегидрохлорирование. Химия и теоретические основы процессов. Кинетика и механизм реакций. Селективность процесса и способы ее регулирования.
134. Винилхлорид. Технология получения винилхлорида окислительным хлорированием этилена.
135. Современные подходы к разработке технологий нефтехимического и органического синтеза.
136. Технологии углубленной переработки углеводородного сырья в продукты для нефтехимического синтеза.

### **3.5 Задания для выполнения курсовой работы в 8 семестре**

- 1 Разработать принципиальную технологическую схему производства бутанола-2 из бутана. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 2 Разработать принципиальную технологическую схему производства метилэтилкетона из бутена-1. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 3 Разработать принципиальную технологическую схему производства анилина из фенола и аммиака. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 4 Разработать принципиальную технологическую схему производства N-метилпирролидона. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 5 Разработать принципиальную технологическую схему производства триизопропаноламина. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.



- 6 Разработать принципиальную технологическую схему производства тетрагидрофурурилового спирта (ТГФС) из фурфурола. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 7 Разработать принципиальную технологическую схему производства диизопропилового эфира из пропилена. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 8 Разработать принципиальную технологическую схему производства пропанола-1 из этилена. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 9 Разработать принципиальную технологическую схему производства формальгликоля из этиленгликоля. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 10 Разработать принципиальную технологическую схему производства окиси пропилена из пропилена и изо-бутана. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 11 Разработать принципиальную технологическую схему производства 4,4'-дитолила из толуола. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 12 Разработать принципиальную технологическую схему производства пропионовой кислоты из этилена. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 13 Разработать принципиальную технологическую схему производства диметилэтанолamina из окиси этилена и диметиламина. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 14 Разработать принципиальную технологическую схему производства диметилкарбоната из окиси этилена, CO<sub>2</sub> и метанола. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 15 Разработать принципиальную технологическую схему производства малеинового ангидрида из бутана. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 16 Разработать принципиальную технологическую схему производства паранонилфенола из пропилена и фенола. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 17 Разработать принципиальную технологическую схему производства 1-метоксипропанола-2 из метанола и окиси пропилена. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 18 Разработать принципиальную технологическую схему производства этилендиамина из моноэтаноламина и аммиака. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 19 Разработать принципиальную технологическую схему производства толуидина (p-метиланилина). Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.
- 20 Разработать принципиальную технологическую схему производства бутилакрилата из акриловой кислоты и бутанола-1. Схему процесса представить в виде PFD с элементами КИПиА.

#### **4 Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Промежуточная аттестация проводится в виде защиты курсовых работ и в форме экзамена. Шкала оценивания для форм курсовая работа и экзамен – балльная.