

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«16» июня 2021 г. № 8

**Рабочая программа дисциплины**

**Химическая технология**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Неорганическая химия**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 год

## Лист актуализации

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

04 июня 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры

\_\_\_\_\_  
Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ - 20\_\_ учебном году на заседании кафедры

\_\_\_\_\_  
Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ - 20\_\_ учебном году на заседании кафедры

\_\_\_\_\_  
Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ - 20\_\_ учебном году на заседании кафедры

\_\_\_\_\_  
Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Химическая технология» относится к профессиональному циклу обязательной части образовательной программы по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия», (Б1.О.03.06), осваивается студентами очной формы обучения на третьем году обучения в 5 и 6 семестрах.

Для освоения дисциплины «Химическая технология» студенты используют знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин «Высшая математика», «Информатика», «Физика», «Физическая химия», «Неорганическая химия», «Органическая химия».

### Целями освоения дисциплины «Химическая технология» являются:

- изучение основных понятий и методов, применяемых в химической технологии для химической переработки сырья в целевой продукт на основе фундаментальных физико-химических закономерностей с учетом экономических, энергетических, экологических и социальных факторов, сырьевых ограничений, конструкционных материалов;
- умение осуществлять квалифицированную экспертизу технологического процесса, вскрывать его сильные и слабые стороны, правильно ориентироваться в вопросах взаимодействия химической науки и технологии, понимать причины, по которым одни фундаментальные разработки оказались более перспективными, чем другие, что лимитирует или, наоборот, благоприятствует продвижению той или иной концепции в технологии.

### Задачи дисциплины:

- изучение общих вопросов (сырье, энергия, катализ, гидромеханические, тепловые, массообменные и химические процессы, аппаратура для их проведения) и физико-химических основ химико-технологических процессов (термодинамики, микро- и макрокинетики, физического и математического моделирования, расчета реакторов);
- изучение структуры, функциональных и технологических схем конкретных химических производств;
- формирование базовых знаний и понятий по химической технологии, важнейшим химическим производствам и другим производствам, использующим в своей технологии химические реакции;
- формирование навыков описания действующих технологий и сравнение их с новыми технологиями, обеспечивающими повышение технико-экономических показателей.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	

<p><b>ОПК-1</b></p> <p>Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности</p>	<p><b>ОПК-1.1.</b> Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.</p> <p><b>ОПК-1.2.</b> Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.</p> <p><b>ОПК-1.3.</b> Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.</p>	<p><i>Уметь</i> выбирать методы диагностики промышленных веществ и материалов, проводить стандартные измерения; обрабатывать результаты эксперимента с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии, проводить химические эксперименты и расчетно-теоретические работы по предлагаемым методикам, ориентироваться в вопросах взаимодействия химической науки и технологии.</p> <p><i>Знать</i> теоретические основы стандартных операций и приемов, используемых при получении, идентификации и исследовании свойств веществ и материалов, являющихся участниками химико-технологического процесса, правила обработки и оформления результатов работы, нормы техники безопасности.</p> <p><i>Владеть</i> базовыми навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов, навыками осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом.</p>	<p>Устный опрос, практические контрольные задания, отчеты по практическим контрольным заданиям, зачет, экзамен</p>
<p><b>ОПК-2</b></p> <p>Способен проводить химический эксперимент с соблюдением современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности</p>	<p><b>ОПК-2.1.</b> Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности.</p> <p><b>ОПК-2.2.</b> Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов</p>	<p><i>Уметь</i> выбирать оборудование для измерения показателей конкретного технологического процесса с учетом его особенностей, проводить измерения по стандартным и новым методикам; использовать программные продукты для контроля эксперимента, систематизации и обработки его результатов.</p> <p><i>Знать</i> основные принципы функционирования современных кон-</p>	<p>Практические контрольные задания, отчеты по практическим контрольным заданиям, зачет</p>

	<p>для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p><b>ОПК-2.3.</b></p> <p>Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием современного научного оборудования.</p>	<p>трольно-измерительных приборов, используемых в химической промышленности.</p> <p><i>Владеть</i> навыками измерения параметров изучаемого процесса на современном оборудовании.</p>	
<p><b>ОПК-3</b></p> <p>Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения</p>	<p><b>ОПК-3.1.</b></p> <p>Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности.</p> <p><b>ОПК-3.2.</b></p> <p>Использует стандартное программное обеспечение и специализированные базы данных при решении задач профессиональной деятельности.</p>	<p><i>Уметь</i> применять математические модели для обработки результатов изучения свойств химико-технологических процессов; обрабатывать анализируемые результаты с помощью современного программного обеспечения и баз данных профессионального назначения.</p> <p><i>Знать</i> современные подходы к обработке результатов эксперимента и их стандартизированному представлению.</p> <p><i>Владеть</i> навыками построения теоретических и эмпирических моделей при решении задач химической технологии и навыками работы с базами данных и программным обеспечением ведущих мировых производителей, применяемым в химической технологии.</p>	<p>Практические контрольные задания, отчеты по практическим контрольным заданиям, зачет.</p>
<p><b>ОПК-4</b></p> <p>Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>	<p><b>ОПК-4.1.</b></p> <p>Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности.</p> <p><b>ОПК-4.2.</b></p> <p>Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик.</p> <p><b>ОПК-4.3.</b></p> <p>Интерпретирует ре-</p>	<p><i>Уметь</i> применять знания в области физики, математики и химии для описания явлений химико-технологической направленности, исследовать их числовые характеристики при помощи аппроксимации, анализировать основные химические, физические и технические аспекты химического промышленного производства с учетом сырьевых и энергетических затрат.</p> <p><i>Знать</i> технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, готовой продукции; основные физико-химические, технические и конструктивные осо-</p>	<p>Устный опрос, практические контрольные задания, отчеты по практическим контрольным заданиям, зачет, экзамен</p>

	<p>зультаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.</p>	<p>бенности конкретных химических производств; способы интенсификации химико-технологических процессов, необходимые для корректного планирования, постановки и проведения работ химико-технологической направленности.</p> <p><i>Владеть</i> навыками расчета основных показателей химико-технологического процесса, определения основных размеров аппаратов, составления тепловых и материальных балансов отдельных химических аппаратов и установок, а также стадий производства, навыками планирования работы химико-технологической направленности.</p>	
<p><b>ОПК-6</b></p> <p>Способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе</p>	<p><b>ОПК-6.1.</b></p> <p>Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке.</p> <p><b>ОПК-6.2.</b></p> <p>Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры.</p> <p><b>ОПК-6.3.</b></p> <p>Готовит презентацию по теме работы и представляет ее на русском и английском языках.</p> <p><b>ОПК-6.4.</b> Представляет результаты работы в виде научной публикации (тезисы доклада, статья, обзор) на русском и английском языке.</p>	<p><i>Уметь</i> анализировать полученные на основе расчетов данные с целью выявления возможных ошибок и/или дальнейшей оптимизации процессов, представлять результаты работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в научной среде.</p> <p><i>Знать</i> теоретические принципы основных составляющих химико-технологического процесса и их взаимосвязи (сырье, энергия, химические, механические, гидромеханические, тепловые и массообменные процессы; основные физические и химические свойства веществ (материалов), используемых в конкретном технологическом процессе; способы работы с опасными веществами и методы индивидуальной защиты), используемые для корректного представления результатов работы в виде отчета и презентации.</p> <p><i>Уметь</i> анализировать полученные на основе расчетов данные с целью выявления возможных ошибок и/или дальнейшей оптимизации процессов.</p>	<p>Контрольные задания, отчеты по практическим контрольным заданиям по стандартной форме и в виде презентаций, зачет.</p>

		<p>мизации процессов, представлять результаты работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в научной среде.</p> <p><i>Владеть</i> навыками расчета основных показателей химико-технологического процесса, определения основных размеров аппаратов, составления тепловых и материальных балансов отдельных химических аппаратов и установок, а также стадий производства, необходимыми для корректного представления результатов работы в виде отчета и презентации с учетом требований, принятых в профессиональном сообществе.</p>	
--	--	---	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	11 ЗЕТ
Часов по учебному плану	396
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия лабораторного типа	128
- занятия семинарского типа	64
-контроль самостоятельной и иной формы работы студентов	6
- самостоятельная работа	62
Промежуточная аттестация – зачет, экзамен (контроль)	72

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная
Тема 1. Общие вопросы химической технологии	33	8	2	8	18	15
Тема 2. Теоретические основы химической технологии	187	44	54	64	168*	25
Тема 3. Структура и технологические схемы химических производств	98	12	8	56	76	22
Всего	324	64	64	128	262	62
Контроль	72					
Итого	396					

\*-с учетом КСРИФ 6 часов

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского и лабораторного типов, групповых и индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет, экзамен) и комплексного экзамена, включающего выполнение практических заданий.

### **3.2.1. Содержание разделов дисциплины**

#### **1. Общие вопросы химической технологии**

Химическая технология – важнейшая область знаний и практической деятельности человека. Краткая история возникновения и развития химической технологии и химической промышленности. Роль и масштабы использования химических процессов в различных сферах материального производства. Сырьевая и энергетическая база химических производств. Тенденции развития техносферы и возрастающее значение проблемы ресурсо- и энергосбережения, обеспечения безопасности химических производств, защиты окружающей среды.



Химические производства как сложные системы. Понятие о химико-технологическом процессе (ХТП) и химико-технологической системе (ХТС). Основные этапы создания ХТС; принципы и общая стратегия системного подхода. Структурная иерархия технологических систем: молекулярные процессы – макрокинетика – аппараты – производства. Роль математического моделирования в решении задач проектирования и эксплуатации ХТС.

Сырьевое обеспечение химических производств. Классификация сырья химических производств. Возобновляемые и не возобновляемые источники сырья. Полупродукты и отходы производств как сырье. Характеристики степени использования сырья: степень превращения, выход продукта, селективность, расходный коэффициент. Проблемы комплексного и безотходного использования сырья. Интегральные уравнения баланса материальных потоков в технологических системах.

Энергетика в химической технологии. Современные промышленные источники энергии, их характеристика и прогнозируемые масштабы использования. Перспективы развития нетрадиционной энергетики. Задачи рационального потребления энергоресурсов. Интегральные уравнения баланса потоков энергии.

Основы эксергетического метода анализа технологических систем преобразования вещества и энергии. Термодинамическая оценка качества различных форм энергии. Уравнения баланса эксергии, эксергетический КПД. Вопросы термодинамической оптимизации технологических процессов. Энерготехнологические схемы и их сущность.

Катализ в промышленности. Технологические характеристики катализаторов.

## 2. Теоретические основы химической технологии

Типовые процессы и аппараты химической технологии. Классификация процессов в зависимости от их функционального назначения и основных законов, управляющих этими процессами.

Гидромеханические процессы. Основные характеристики движения газов и жидкостей. Уравнение сплошности потока. Дифференциальные уравнения гидродинамики (Эйлера, Навье-Стокса).

Основные принципы теории подобия и моделирования процессов. Критерии подобия и их физический смысл. Теоремы подобия. Подобное преобразование уравнений Навье-Стокса. Основные критерии гидродинамического подобия. Обобщенное критериальное уравнение гидродинамики. Приближенное моделирование. Обработка экспериментальных данных по гидравлике методами теории подобия.

Определение расхода энергии на перемещение жидкости по трубопроводу. Расчет полного гидравлического сопротивления сети.

Теплообменные процессы в химической технологии. Передача тепла теплопроводностью, перенос тепла излучением, конвективный теплообмен. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Основные критерии теплового подобия. Обобщенное критериальное уравнение теплообмена.

Теплопередача при постоянных и при переменных температурах теплоносителей. Основное уравнение теплопередачи. Выбор направления потоков теплоносителей.

Общие сведения о массообмене. Основные виды массообменных процессов, применяемых в химической технологии. Способы выражения состава фаз. Направление массообмена. Материальный баланс массообменного аппарата. Рабочая линия.

Молекулярная диффузия. Первый закон Фика. Конвективный массообмен. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена. Турбулентная диффузия.

Представления о механизме массопереноса. Уравнение массоотдачи. Подобие процессов переноса массы. Диффузионные критерии подобия. Обобщенное критериальное уравнение массоотдачи. Аналогия процессов переноса массы, теплоты и переноса импульса.

Основное уравнение массопередачи. Связь коэффициентов массопередачи и массоотдачи. Средняя движущая сила массопередачи.

Массообмен в аппаратах с непрерывным контактом фаз. Число единиц переноса. Высота единицы переноса. Массообмен в аппаратах с дискретным контактом фаз. Теоретическая тарелка. Способы выражения эффективности работы аппарата.

Макроскопическая кинетика физико-химических явлений – теоретическая база химической технологии. Место законов термодинамики в теоретическом описании ХТС как определяющих направленность процессов. Роль процессов переноса массы, энергии, импульса в гомогенных и гетерогенных химических процессах. Кинетические модели гетерогенных процессов «газ(жидкость) – твердое вещество» с участием и без участия катализатора.

Химические реакторы. Основные типы реакторов, примеры их использования в технологии важнейших химических продуктов. Реакторы периодического и непрерывного действия. Классификация реакторов по способам осуществления контакта фаз, по структуре потоков, по условиям теплообмена. Факторы, обуславливающие целесообразность использования реактора того или иного типа. Принципы построения математических моделей процессов в химических реакторах.

Химические реакторы с идеальной структурой потока. Материальный и тепловой балансы химических реакторов. Реактор идеального вытеснения. Реактор идеального смешения периодического действия. Реактор идеального смешения проточный. Характеристические уравнения идеальных реакторов. Каскад реакторов идеального смешения.

Химические реакторы с неидеальной структурой потока. Причины отклонений от идеальности в промышленных реакторах. Ячеечная и диффузионная модели реакторов с неидеальной структурой потока.

Классификация реакторов с различным тепловым режимом. Уравнение теплового баланса химического реактора.

Адиабатические реакторы. Уравнение теплового баланса адиабатических реакторов разных типов. Графический метод совместного решения уравнений теплового и материального баланса. Анализ устойчивости работы адиабатического проточного реактора идеального смешения

на примере разных реакций. Способы повышения устойчивости работы реакторов и получения оптимальных показателей процесса.

Изотермические реакторы идеального смешения непрерывного действия и идеального вытеснения.

Уравнения теплового баланса политропических реакторов.

Выбор типа реактора с учетом теплового режима на примере адиабатических реакторов для проведения необратимых эндо- и экзотермических реакций. Создание оптимального теплового режима в реакторах разных видов (изотермических, политропических, адиабатических) при проведении необратимых эндо- и экзотермических реакций. Автотермические процессы. Промышленные способы реализации оптимального температурного режима при проведении обратимых экзотермических реакций.

### 3. Структура и технологические схемы важнейших химических производств

Масштабы производства и потребления различных групп химических продуктов. Сложность и многовариантность решения задачи синтеза и оптимизации технологической схемы крупного химического производства.

Производство серной кислоты. Основные виды сырья для получения серной кислоты. Физико-химические основы и функциональные схемы контактного метода получения серной кислоты. Особенности технологических схем ее получения из различных видов сырья. Основные тенденции развития сернокислотного производства.

Технология связанного азота. Структура современного производства аммиака из природного газа: основные блоки и связи.

Производство фосфора, фосфорной кислоты, солей и удобрений. Современное состояние производства минеральных удобрений (ассортимент, масштабы, качество, способы получения). Виды фосфорсодержащего сырья. Альтернативные способы получения фосфорной кислоты: термический и экстракционный. Особенности аппаратного оформления производства фосфорной кислоты. Производство аммофоски и нитроаммофоски как примеры комбинирования производств при получении комплексных удобрений.

Важнейшие электрохимические производства и перспективы их совершенствования.

Переработка углеродсодержащего сырья – нефти, природного газа и угля в качестве сырья химических производств. Переработка углеродсодержащего сырья на парафины, олефины, ароматические углеводороды, ацетилен и синтез-газ. Технология основного органического синтеза.

Технология высокомолекулярных соединений. Пластмассы, каучуки, химические волокна и полимерные покрытия как основные виды полимерных материалов. Основные направления развития технологии полимеров. Промышленное получение полиэтилена высокой и низкой плотности. Технология переработки и области применения полиэтилена и изделий из него.

### 3.2.2. Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Контрольно-измерительные приборы химической промышленности. Измерение температуры.
2	2	Изучение термического и гидравлического сопротивления двухтрубчатого теплообменника типа «труба в трубе».
3	2, 3	Ректификация
4	2	Химические реакторы.  Часть 1. Адиабатический реактор идеального смешения периодического действия.  Часть 2. Компьютерное моделирование процессов в идеальных реакторах типа смешения и вытеснения.
5	2, 3	Гетерогенные химико-технологические некаталитические процессы в системах газ (жидкость) – твердое тело (обжиг твердых материалов)
6	1, 3	Тренажер по производству азотной кислоты
7	3	Производство серной кислоты  Часть 1. Сравнение основных технологических схем получения серной кислоты  Часть 2. Моделирование процесса каталитического окисления диоксида серы
8	3	Технология связанного азота
9	3	Фосфатная промышленность
10	3	Основной органический синтез
11	3	Производство полимеров
12	3	Производство волокон
Формирование и защита портфолио по темам		
13	3	Производство минеральных удобрений (по выбору студента)
14	3	Синтез метанола
15	3	Электрохимические производства (по выбору студента)

16	3	Производство поливинилхлорида/полиэтилена (по выбору студента)
----	---	--

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся\_

Самостоятельная работа обучающегося – работа творческого характера. Самостоятельная работа студентов включает работу в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях) и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет для подготовки к устному опросу, контрольным работам и тестам, а также оформление научных рисунков в альбоме как отчета по соответствующим темам лабораторных работ.

К формам текущего контроля успеваемости дисциплины относится следующее:

- Собеседование
- Контрольная работа
- Проверка отчетов по темам практических занятий

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **экзамена**.

К экзамену в 5-ом и 6-ом семестрах очной формы обучения допускаются обучающиеся, выполнившие все отчеты по темам практических занятий.

Отчеты по лабораторным работам представляют собой отчетный документ о работе студента в течение семестра. Наличие отчетов, зачтенных преподавателем, ведущим лабораторные занятия, является необходимым условием допуска к сдаче экзамена по дисциплине. Это также один из эффективных методов познания, так как именно в процессе написания отчета студент детально и вдумчиво анализирует и обосновывает способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов; способы интенсификации химико-технологических процессов; анализирует математические модели типовых процессов химической технологии и обосновывает оптимальные параметры технологических процессов, проводит составление тепловых и материальных балансов химических аппаратов и установок; приобретает навыки расчета химических реакторов, рассчитывает выход полученного продукта, формулирует вывод о проделанной работе, что способствует лучшему усвоению материала, развивает у студентов внимание и наблюдательность. Структура и технологические схемы важнейших химических производств представляются в виде проектных работ, например, презентаций. Темы могут быть определены самостоятельно с учетом приводимой учебной программы.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовле-	удовлетво-	хорошо	очень хорошо	отлично	

компетенций (индикатора достижения компетенций)		творительно	рительно				превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными негрубыми недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»

зачтено	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде комплексного экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамены в 5 и 6 семестрах для очной формы обучения проводятся в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решения практических задач и последующего собеседования в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ

**Для проведения промежуточного контроля сформированности компетенций используется ответ по билету на экзамене.**

## **6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.**

### **6.2.1. Контрольные вопросы**

Тема 1. <i>Общие вопросы химической технологии</i> Охарактеризуйте масштабы и структуру использования химических процессов; основные химические производства и долю	ОПК-4
--	-------

<p>их продукции в валовом национальном продукте различных стран. Покажите на конкретных примерах тенденцию увеличения степени химизации различных отраслей хозяйства. Укажите основные направления развития химической техники и технологии. По каким признакам классифицируют сырье химической промышленности? Охарактеризуйте проблемы сырья для химической промышленности. Что такое обогащение сырья и зачем его применяют? С какой целью проводится комплексная переработка сырья? Какова роль топлива в энергии в проведении технологических процессов? Каковы основные виды энергетических ресурсов и прогнозируемые масштабы их использования? В чем состоит сущность энерготехнологии? Рассмотрите возможности и цели эксергетического метода анализа технических систем преобразования вещества и энергии.</p>	
<p>Тема 2. <i>Теоретические основы химической технологии</i></p> <p>Охарактеризуйте макрокинетiku как фундаментальную научную основу для изучения процессов химического передела веществ в условиях переноса массы, энергии, импульса. Какие процессы используются в химической технологии? Режимы движения жидкостей. Уравнение неразрывности потока. Основные критерии гидродинамического подобия. Обобщенное уравнение гидродинамики. Виды теплообмена. Уравнения теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи. Основные критерии теплового подобия. Критериальное уравнение конвективного теплообмена. Виды массообменных процессов. Чем отличается массопередача от массоотдачи? Классификация химических реакторов. Реакторы периодического и непрерывного действия. Материальный и тепловой баланс химического реактора. Реактор идеального вытеснения. Реактор идеального смешения периодического действия. Реактор идеального смешения проточный. Каскад реакторов идеального смешения. Сравнение идеальных реакторов. Причины отклонения от идеальности в промышленных реакторах. Температурный режим реакторов. Основные требования, предъявляемые к промышленным реакторам. Виды моделирования в химической технологии. Основные требования, предъявляемые к моделированию. Физическое моделирование. Теоремы подобия. Принцип математического моделирования.</p>	<p>ОПК-1, ОПК-2</p> <p>ОПК-3</p>
<p>Тема 3. <i>Структура и технологические схемы химических производств</i></p> <p>Для каких целей используются в химической технологии вода и воздух? Какое сырье используется для получения серной кислоты? Альтернативные источники серосодержащего сырья. Физико-химические основы производства серной кислоты раз-</p>	<p>ОПК-4, ОПК-6</p>



<p>ными методами. Технологические схемы производства серной кислоты. Способы связывания атмосферного азота. Физико-химические основы синтеза аммиака из природного газа. Особенности циркуляционной схемы синтеза аммиака. Назовите важнейшие продукты, вырабатываемые фосфатной промышленностью. Приведите функциональную схему производства фосфорной кислоты экстракционным методом. Перечислите важнейшие продукты, выпускаемые электрохимической промышленностью. Какова роль нефти, природного газа и угля как сырья химических производств? Являются ли физическим, химическим или физико-химическим следующие процессы нефтепереработки: перегонка, ректификация, крекинг, пиролиз и риформинг. Какие промышленные методы используются для повышения детонационной стойкости бензина? Какие виды сырья используются для промышленного органического синтеза. Составьте функциональную схему синтеза метанола. Какими свойствами должны обладать катализаторы синтеза метанола? Чем обусловлена циркуляционная схема синтеза метанола? Охарактеризуйте пути переработки термопластов и термореактивных полимеров.</p>	
--	--

### 6.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-3

**Задача 1.** Протекает жидкофазная реакция  $A + 2B \leftrightarrow 2R + S$ . Начальные количества реагентов  $n_{(A,0)}=10$  кмоль,  $n_{(B,0)} = 25$  кмоль. В реакционной смеси, на выходе из реактора содержится 12 кмоль продукта R. Известно, что в равновесной смеси при данных условиях проведения реакции содержится 2,5 кмоль реагента A. Найти выход продукта R.

**Задача 2.** Определите выход продукта R и степень превращения реагента A, если обратимая реакция  $A \leftrightarrow 2R$  протекает при условиях, когда равновесная степень превращения  $x_{(A, \text{равн.})} = 0,75$ . А отношение концентраций продукта и реагента после окончания реакции составляет  $C_{(R)} : C_{(A)} = 1$ .

**Задача 3.** Составить материальный баланс печи для сжигания серы производительностью 60 т/сутки. Степень окисления серы 95% (остальная сера возгоняется и сгорает вне печи). Коэффициент избытка воздуха 1,5. Расчет произвести по сжигаемой сере в кг/час.

**Задача 4.** Составьте тепловой баланс реактора синтеза этилового спирта  $CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$ ,  $\Delta_r H = -46090$  кДж/моль. Известно, что исходный газ имеет состав: 60 об.%  $C_2H_4$  и 40 об.%  $H_2O$ ; скорость подачи исходного газа в реактор-гидратор 2000 м<sup>3</sup>/час; температура газовой смеси на входе в реактор 563 К, на выходе – 614 К; конверсия этилена за 1 проход составляет 5%; теплоемкость продуктов на входе и на выходе одинакова и равна 27.1 кДж/моль·К; потери теплоты в окружающую среду принимаем 3 % от прихода теплоты.

**Задача 5.** Определить режим течения воды в кольцевом пространстве теплообменника типа «труба в трубе». Наружная труба имеет диаметр  $\varnothing 96 \times 3.5$  мм, а внутренняя -  $\varnothing 57 \times 3$  мм. Расход воды 3.6 м<sup>3</sup>/час, средняя температура 20 °С.

**Задача 6.** На трубопроводе  $\varnothing 160 \times 5$  мм установлен расходомер «труба Вентури», внутренний диаметр узкой части которой равен 60 мм. По трубопроводу проходит этан под атмосферным давлением при  $25^\circ\text{C}$ . Показание водяного дифманометра трубы Вентури 32 мм. Определить массовый расход этана, проходящего по трубопроводу (кг/час), приняв, что коэффициент расхода равен 0.97.

**Задача 7.** 20 т/ч хлорбензола при  $45^\circ\text{C}$  перекачиваются насосом из реактора в напорный бак. В реакторе над жидкостью поддерживается разрежение 200 мм рт.ст. (26.66 кПа), в напорном баке атмосферное давление. Трубопровод выполнен из стальных труб с незначительной коррозией  $\varnothing 76 \times 4$  мм, общей длиной 26.6 м. На трубопроводе установлены 2 крана, диафрагма ( $d_0 = 48$  мм) и 5 отводов под углом  $90^\circ$  ( $R_0/d=3$ ). Хлорбензол перекачивается на высоту 15 м. найти мощность, потребляемую насосом, приняв общий КПД насосной установки 0.7.

**Задача 8.** По стальному трубопроводу внутренним диаметром 200 мм длиной 1000 м передается водород в количестве 120 кг/час. Среднее давление в сети 1530 мм рт. ст., температура газа  $27^\circ\text{C}$ . Определить потерю давления на трение.

**Задача 9.** По стальному трубопроводу внутренним диаметром 75 мм требуется перекачивать  $25 \text{ м}^3/\text{час}$  жидкости  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$  и  $\mu = 1.7 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Конечная точка трубопровода выше начальной на 24 м. Длина трубопровода 112 м. На нем установлены 2 прямооточных вентиля и 5 прямоугольных отводов с радиусом изгиба 300 мм. Трубы имеют незначительную коррозию. Найти потребляемую мощность, если общий КПД насосной установки 0.6.

**Задача 10.** Найти температуру внутренней поверхности обмуровки аппарата, если температура наружной ее поверхности  $35^\circ\text{C}$ . Толщина обмуровки 260 мм. Термометр, заделанный на глубину 50 мм от наружной поверхности, показывает температуру  $70^\circ\text{C}$ .

**Задача 11.** Определите коэффициент теплоотдачи для воды, проходящей внутри трубы  $\varnothing 40 \times 2.5$  мм и длиной 2 м со скоростью 1.0 м/с. Средняя температура воды  $47.5^\circ\text{C}$ , температура внутренней поверхности трубы  $95^\circ\text{C}$ .

**Задача 12.** 3700 кг/ч метилового спирта подогреваются от 10 до  $50^\circ\text{C}$ , проходя по трубному пространству теплообменника, состоящего из 19 труб диаметром  $16 \times 2$  мм. Определить коэффициент теплоотдачи, если принять температуру стенки  $60^\circ\text{C}$ .

**Задача 13.** Как изменится коэффициент теплопередачи в выпарном аппарате, если заменить стальные трубы диаметром  $38 \times 2.5$  мм на медные такого же размера, если  $\alpha_{\text{кип.раств}} = 2320 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ ,  $\alpha_{\text{гр.пара}} = 11600 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ ? Загрязнений поверхности не учитывать.

**Задача 14.** Какая наибольшая удельная тепловая нагрузка может быть в испарителе толуола, если его стальные трубы толщиной 4 мм с обеих сторон покрыты ржавчиной? Толщина одного слоя ржавчины 0.6 мм. Испаритель обогревается насыщенным паром ( $p_{\text{изб}} = 0.3 \text{ МПа}$ ). Толуол кипит под атмосферным давлением. Считать, что термическое сопротивление стенки и двух слоев ржавчины значительно больше суммы остальных термических сопротивлений.

**Задача 15.** На складе имеется кожухотрубчатый теплообменник, состоящий из 19 латунных труб  $\varnothing 18 \times 2$  мм, длиной 1.2 м. Достаточно ли его поверхность для конденсации  $350 \text{ кг/ч}$  насыщенного пара этилового спирта, если коэффициент теплопередачи равен  $700 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ , начальная температура воды  $15^\circ\text{C}$ , а конечная  $35^\circ\text{C}$ ? Конденсация спирта предполагается при атмосферном давлении, жидкий спирт отводится при температуре конденсации.

**Задача 16.** В противоточный водо-водяной теплообменник горячая вода поступает с температурой  $90^\circ\text{C}$  в количестве 2000 кг/ч. Холодная вода имеет температуру на входе  $25^\circ\text{C}$ , а на выходе  $65^\circ\text{C}$ . Расход холодной воды 1200 кг/ч. Коэффициент теплоотдачи для холодной воды  $4800 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$ , а для горячей воды  $3500 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$ . Теплообменник изготовлен из стали, наружная труба  $\varnothing 89 \times 4$  мм, внутренняя  $\varnothing 57 \times 3.5$  мм. Определите площадь теплообменной поверхности и расход горячей воды.

**Задача 17.** Метиловый спирт (100%) нагревается в трубном пространстве одноходового кожухотрубчатого теплообменника с диаметром кожуха  $D = 400$  мм от 15 до  $40^\circ\text{C}$ . Противотоком в межтрубном пространстве течет вода, которая охлаждается от 90 до  $40^\circ\text{C}$ . Теплообменник состоит из 111 стальных труб диаметром  $\varnothing 25 \times 2$  мм. Скорость спирта 0.75 м/с. Определите площадь теплообменной поверхности и длину трубчатки, если коэффициент теплоотдачи для воды  $840 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ , суммарная тепловая проводимость загрязнений стенки  $1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ , температура внутренней поверхности загрязнений со стороны спирта  $38^\circ\text{C}$ .

**Задача 18.** При  $25^\circ\text{C}$  приведены в соприкосновение: воздух атмосферного давления, содержащий 14 об.% ацетилена, и вода, содержащая растворенный ацетилен в количестве: а) 0.29 мг на 1 кг воды; б) 0.153 мг на 1 кг воды. Определить: 1) из какой фазы в какую будет переходить ацетилен; 2) движущую силу перехода в относительных мольных долях. Общее давление 765 мм рт.ст. Равновесные содержания ацетилена в газовой и жидкой фазах определяются законом Генри.

**Задача 19** Определить среднюю движущую силу и число единиц переноса при поглощении из газа паров бензола маслом. Начальная концентрация бензола в газе 4 об.%; улавливается 80% бензола. Концентрация бензола в масле, вытекающем из скруббера, равна 0.02 кмоль  $\text{C}_6\text{H}_6$ /кмоль масла. Масло, поступающее в скруббер, бензола не содержит. Уравнение равновесной линии в относительных мольных концентрациях имеет вид:  $Y^* = 0.126 \cdot X$ . Движущую силу выразить в кмоль  $\text{C}_6\text{H}_6$ /кмоль инертного газа.

**Задача 20.** Скруббер для поглощения паров ацетона из воздуха орошается чистой водой в количестве 3000 кг/час при  $20^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении. Исходная паровоздушная смесь содержит 6 об.% ацетона. Расход чистого воздуха в поступающей смеси равен  $1400 \text{ м}^3/\text{ч}$  (считая на нормальные условия). Степень поглощения ацетона 98 %. Уравнение линии равновесия:  $Y^* = 1.68 \cdot X$  (кмоль ацетона/кмоль воды (воздуха)). Определите поверхность массопередачи, если коэффициент массопередачи равен  $K_y = 0.4 \text{ кмоль ацетона}/[\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{кмоль ацетона}/\text{кмоль воздуха})]$ .

**Задача 21.** В насадочный абсорбер подается  $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$  (при 760 мм рт.ст. и  $25^\circ\text{C}$ ) газовой смеси, содержащей 5 об.%  $\text{NH}_3$ . Содержание  $\text{NH}_3$  в поступающей на абсорбцию воде - 0.2 масс.%. Содержание  $\text{NH}_3$  в газовой смеси на выходе - 0.27 об.%. Удельный расход поглотителя 1.18 кг воды/кг воздуха. Абсорбер заполнен насадкой из колец Рашига  $50 \times 50 \times 5$  мм с удельной поверхностью  $110 \text{ м}^2/\text{м}^3$  и свободным объемом 0.735. Требуется рассчитать: 1) количество поглощенного аммиака; 2) расход воды; 3) конечную концентрацию  $\text{NH}_3$  в жидкой фазе; 4) уравнение рабочей линии; 5) высоту слоя насадки. Равновесные данные приведены в таблице:

$\bar{X}$ , кг $\text{NH}_3$ /кг воды	0.0020	0.0050	0.0100	0.0150	0.0200	0.0250	0.0268
$\bar{Y}^*$ , кг $\text{NH}_3$ /кг воздуха	0.0009	0.0025	0.0057	0.0097	0.0147	0.0212	0.0236

**Задача 22** В РИС-П объемом  $5 \text{ м}^3$  проводится изотермическая реакция  $2A \rightarrow P$ . Начальная концентрация вещества А  $11 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Кинетическое уравнение  $-r_A = kC_A^2$ . Константа скорости реакции  $0.8 \text{ м}^3/\text{кмоль} \cdot \text{час}$ . Вспомогательное время (загрузка и выгрузка) 30 минут. Степень заполнения реактора 0.8. Определите время, необходимое для достижения степени превращения 90%. Рассчитайте производительность и интенсивность работы реактора по реагенту А. Считать, что процесс протекает без изменения объема смеси.

**Задача 25** Изотермическая реакция типа  $A + B \rightarrow 2R + S$  протекает в периодическом РИС при начальных концентрациях  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . За 240 с достигается степень превращения по веществу А 20%. Порядок реакции второй. Определите константу скорости.

**Задача 26.** В РИС непрерывного действия, полезный объем которого  $0.5 \text{ м}^3$ , проводится реакция, которая имеет первый порядок по каждому компоненту:  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3 + \text{NaHSO}_3 \rightarrow$

$NaSO_3H_2C-CH_2-C(O)OCH_3$ . Константа скорости  $11.9 \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ .  $C_0(MA) = 0.05 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ;  $C_0(NaHSO_3) = 0.1 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Объемная скорость подачи реагентов  $0.089 \text{ м}^3/\text{час}$ . Определить степень превращения метилакрилата.

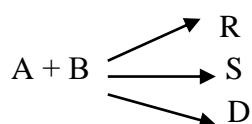
**Задача 27.** В реакторе идеального вытеснения проводится реакция  $A \leftrightarrow R$ .  $C_{A,0} = 20 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Реагент А подается в реактор с объемным расходом  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Константа скорости прямой реакции  $0.5 \text{ час}^{-1}$ ; константа равновесия 10. Степень превращения  $x_A = 0,8$ . Определите объем реактора.

**Задача 28.** Жидкофазную реакцию  $A + B \leftrightarrow 2R$  проводят в проточном РИС. Константа скорости прямой реакции  $k_{пр} = 2.3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ , константа скорости обратной реакции  $k_{обр} = 0.42 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ . Рассчитайте объем реактора, необходимый для получения  $x_B = 0,3$ . Исходные вещества подаются раздельно. Скорость подачи вещества А равна  $0.008 \text{ м}^3/\text{сек}$ , начальная концентрация А в потоке  $0.12 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Скорость подачи В  $0.006 \text{ м}^3/\text{сек}$ , начальная концентрация В в потоке  $0.15 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Продукт в исходном растворе отсутствует. Плотность смеси постоянна.

**Задача 29.** В РИС-Н объемом  $0.12 \text{ м}^3$  протекает в жидкой фазе реакция  $A + B \leftrightarrow R + S$ . Константа скорости прямой реакции  $0.118 \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ , обратной  $0.05 \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ . В реактор поступают непрерывно с одинаковыми объемными скоростями два потока жидкости, в одном из которых содержится  $2.8 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  вещества А; а в другом  $1.6 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  вещества В. Определите, с какой скоростью необходимо подавать каждый раствор, чтобы за время пребывания в аппарате прореагировало 75 % вещества В. Плотности жидкостей в процессе реакции не изменяются.

**Задача 30.** Реакция типа  $A + B \rightarrow \text{Продукты}$  проводится в РИВ, объемом  $0.1 \text{ л}$ . Кинетическое уравнение  $-r_A = k \cdot C_A \cdot C_B$ . Константа скорости  $k = 8.33 \text{ м}^3/\text{кмоль}\cdot\text{сек}$ . Объемная скорость подачи исходных веществ  $8.33 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{сек}$ . Концентрации реагентов в исходной смеси  $C_{A,0} = C_{B,0} = 0.01 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Какую степень превращения можно ожидать для каждого из реагирующих веществ? Каков должен быть объем проточного РИС для достижения той же, что и в РИВ, степени превращения при той же скорости реакции? Какую степень превращения можно ожидать в проточном РИС, имеющем объем, равный по объему РИВ, при той же скорости реакции?

**Задача 31.** Дана реакция



Известно, что начальные концентрации реагентов  $C_{A,0} = 0,4 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ,  $C_{B,0} = 0,8 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ . Скорости образования продуктов реакции:  $r_R = 5,8 \cdot 10^{-3} C_A^{0,8} C_B^{1,2}$ ;  $r_S = 6,4 \cdot 10^{-3} C_A^{0,6} C_B^{1,0}$ ;

$r_D = 2,9 \cdot 10^{-3} C_A^{0,7} C_B^{0,8}$ . Определить избирательность процесса по продукту S в РИС-Н, если  $x_A = 0,85$ .

**Задача 32.** Определить степень превращения вещества: 1) в одиночном реакторе идеального смешения; 2) в каскаде, состоящем из двух РИС; 3) в 3-х ступенчатом каскаде; если в указанных аппаратах проводить жидкофазную реакцию типа  $A \rightarrow B$ .  $C_{A,0} = 0.2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ , объемный расход  $10 \text{ л}/\text{ч}$ ; константа скорости  $0,48 \text{ ч}^{-1}$ . Объемы аппаратов равны, т.е.  $V(\text{РИС}) = V(\text{РИС-К2}) = V(\text{РИС-К3}) = 40 \text{ л}$ .

**Задача 33.** В каскаде РИС, состоящем из 4 ступеней, объемом каждая по  $0.18 \text{ м}^3$ , проводится реакция  $A \rightarrow B$ .  $C_{A,0} = 0.2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ , объемный расход  $0.5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; константа скорости  $0.8 \text{ ч}^{-1}$ . Определить степень превращения графическим методом.

**Задача 34.** В реакторе идеального смешения объемом  $0.3 \text{ м}^3$  проводится экзотермическая реакция типа  $A \rightarrow R$ . Константа скорости реакции описывается уравнением  $k = 10^3 \exp[-22000/(RT)] [\text{мин}^{-1}]$ . Тепловой эффект реакции составляет  $10000 \text{ кДж}/\text{кмоль}$ . Плотность реакционной массы не зависит от степени превращения и равна  $400 \text{ кг}/\text{м}^3$ , удельная теплоемкость раствора  $4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Раствор реагента А подается с концентрацией  $6.5 \text{ кмоль/м}^3$  в количестве  $0.8 \text{ м}^3/\text{час}$ . Рассчитайте, при какой температуре следует подавать исходный раствор компонента А в реактор, работающий в адиабатическом режиме, чтобы температура в нем не превышала  $60^\circ\text{C}$ .

**Задача 35.** Определить температуру проведения реакции и степень превращения, которые будут достигнуты, если реакцию  $A \rightarrow R$  проводить в адиабатическом режиме в РИС-Н объемом  $0.05 \text{ м}^3$ . Тепловой эффект реакции составляет  $28 \text{ МДж/кмоль}$ . Объемный расход реагента А с концентрацией  $3 \text{ кмоль/м}^3$  равен  $1.75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , константа скорости реакции описывается уравнением  $k = 10^5 \exp[-45300/(RT)] \text{ [сек}^{-1}\text{]}$ . Плотность реакционной смеси равна  $524 \text{ кг/м}^3$ , а теплоемкость раствора  $1200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$  и не зависят от степени превращения. Температура входящего потока  $325 \text{ K}$ .

### 6.2.3. Примерный перечень заданий для оценки сформированности знаний компетенций ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-6:

Ниже приведены типичные примеры заданий коллоквиумов:

#### Коллоквиум №1

Классификация основных процессов и типовых аппаратов, реализующих этапы современных химических процессов. Общие принципы расчета ХТП и аппаратов. Технологические критерии эффективности ХТП.

Проблема масштабного перехода от лабораторного эксперимента к промышленному производству. Пути ее решения. Теория подобия – аппарат моделирования. Теоремы подобия. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.

Предмет и задачи технической гидравлики. Классификация гидромеханических процессов. Движение идеальных жидкостей. Уравнение сплошности потока. Режимы течения сплошной среды. Дифференциальные уравнения гидродинамики реальной (вязкой) и идеальной жидкостей. Гидродинамическое подобие. Обобщенное (критериальное) уравнение гидродинамики.

Общая характеристика тепловых процессов. Типы переноса теплоты. Температурное поле. Температурный градиент. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Передача тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла. Тепловое подобие. Обобщенное уравнение конвективного теплообмена.

Характеристика процессов массопередачи. Молекулярная диффузия и конвективный перенос. Конвективная диффузия. Обобщенное уравнение конвективного массообмена. Аналогия с теплообменом. Основные уравнения массопередачи.

#### Коллоквиум №2

Моделирование – основной метод расчета и проектирования реакторов. Блочный принцип построения математических моделей химических реакторов и протекающих в них процессов. Исходные положения для расчёта реакторов. Уравнение материального и энергетического балансов – основа математической модели химического реактора. Классификация реакторов по способам подвода и отвода реагентов, режимам движения реакционной среды, условиям теплообмена, осуществления контакта фаз.

Химические реакторы с идеальной структурой потока. Модели идеальных потоков. О реалистичности моделей идеальных потоков. Математическая модель реактора идеального смешения периодического действия, работающего в изотермическом режиме. Определение основных размеров реактора. Достоинства и недостатки реакторов периодического действия. Применение реакторов периодического действия в химических производствах. Математическая модель реактора идеального вытеснения, работающего в изотермическом режиме. Факторы, обуславливающие целесообразность

использования реакторов данного типа в химических производствах. Математическая модель реактора идеального смешения с непрерывной подачей реагентов, работающего в изотермическом режиме. Факторы, обуславливающие целесообразность использования реакторов данного типа в химических производствах. Математическая модель каскада реакторов идеального смешения, работающего в изотермическом режиме. Сравните эффективность реакторов идеального вытеснения и идеального смешения при проведении в них различных типов реакций.

Химические реакторы с неидеальной структурой потока. Причины отклонений реальных потоков от идеализированных в промышленных реакторах. Ячеечная и диффузионная модели реакторов с неидеальной структурой потока.

Реакторы с различным тепловым режимом. Температурный режим реакторов: адиабатический, изотермический, политропический. Адиабатические реакторы, их математические модели. Графический метод совместного решения уравнений материального и теплового балансов для стационарного адиабатического реактора идеального смешения непрерывного действия. Устойчивость теплового режима в реакторе. Изотермические и политропические реакторы, их математические модели. Выбор типа реактора или системы из нескольких реакторов с учётом теплового режима: для необратимых эндотермических и экзотермических реакций; для обратимых эндотермических и экзотермических реакций. Линия оптимальных температур. Способы осуществления (схемы) оптимального температурного режима обратимых экзотермических процессов.

Устройство реакторов. Конструктивные типы реакторов для проведения гомогенных, гетерогенных некаталитических и гетерогенно-каталитических процессов.

Иерархическая структура химического производства. Этапы создания новых химических процессов и производств.

#### **6.2.4. Перечень примерных вопросов для экзамена:**

1. Химическая технология – важная область знаний и практической деятельности. Динамика развития и тенденции.
2. Необходимость создания принципиально новых технологических процессов в условиях изменения ресурсо- и энергосбережения и повышенных требований к безопасности и экологической чистоте химических производств. Основные принципы новой технологической идеологии.
3. Покажите на конкретных примерах тенденцию увеличения степени химизации различных отраслей хозяйства.
4. Классификация основных процессов и типовых аппаратов, реализующих этапы современных химических процессов. Кинетические закономерности основных процессов химической технологии.
5. Технологические критерии эффективности ХТП. Общие принципы расчета ХТП и аппаратов.
6. Сущность и методы составления и изображения материальных и энергетических балансов ХТС и ее подсистем.
7. Проблема масштабного перехода от лабораторного эксперимента к промышленному производству. Пути ее решения.
8. Теория подобия – аппарат моделирования. Теоремы подобия. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.
9. Предмет и задачи технической гидравлики. Классификация гидромеханических процессов. Движение идеальных жидкостей. Уравнение сплошности потока. Режимы течения сплошной среды.

10. Дифференциальные уравнения гидродинамики реальной (вязкой) и идеальной жидкостей.
11. Гидродинамическое подобие. Обобщенное (критериальное) уравнение гидродинамики.
12. Общая характеристика тепловых процессов. Типы переноса теплоты. Температурное поле. Температурный градиент.
13. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
14. Передача тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла.
15. Тепловое подобие. Обобщенное уравнение конвективного теплообмена.
16. Теплообмен излучением. Основные законы излучения. Лучистый теплообмен между телами.
17. Характеристика процессов массопередачи. Молекулярная диффузия и конвективный перенос.
18. Конвективная диффузия. Обобщенное уравнение конвективного массообмена. Аналогия с теплообменом.
19. Основные уравнения массопередачи. Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи.
20. Сдвиг равновесия в желаемую сторону под влиянием температуры, давления, концентрации реагирующих веществ и инертных газообразных примесей.
21. Расчет теплового эффекта и теоретической температуры реакции.
22. Макроскопическая кинетика – фундаментальная научная основа для изучения процессов химического передела веществ в условиях переноса массы, энергии и импульса. Факторы, влияющие на скорость ХТП.
23. Влияние температуры на скорость химических реакций и степень превращения реагента.
24. Влияние концентрации реагирующих веществ и давления на скорость химических реакций.
25. Катализ. Влияние катализаторов на скорость химических реакций. Технологические характеристики твердых катализаторов и их изготовление. Производственные процессы с применением катализаторов. Основные типы контактных аппаратов.
26. Общие особенности гетерогенных процессов. Факторы, определяющие скорость гетерогенно протекающих реакций. Подразделение гетерогенных процессов на группы систем с целью получения обобщений при описании их кинетики.
27. Кинетические модели некаталитических процессов в системе "газ (жидкость) – твердое вещество".
28. Основные стадии и кинетические особенности процессов в системах "газ – твердый катализатор".
29. Основные типы химических реакторов, предъявляемые к ним требования, примеры их использования в технологии важнейших химических продуктов.
30. Исходные положения для расчёта реакторов. Уравнения материального и энергетического балансов – основа математической модели химического реактора. Модели идеальных потоков.
30. Математическая модель реактора периодического действия, работающего в изотермическом режиме. Определение основных размеров реактора. Проанализируйте достоинства и недостатки реакторов периодического действия. В каких производствах чаще встречаются такие реакторы?
31. Математическая модель реактора идеального вытеснения, работающего в изотермическом режиме. В каких производствах чаще встречаются такие реакторы?
32. Математическая модель реактора идеального смешения с непрерывной подачей реагентов, работающего в изотермическом режиме. Проанализируйте достоинства и недостатки проточных реакторов.
33. Математическая модель каскада реакторов идеального смешения, работающего в изотермическом режиме.

34. Сравните эффективность реакторов идеального вытеснения и идеального смешения для различных типов реакций.
35. Отклонение реальных потоков от идеализированных. Модели неидеальных потоков.
36. Адиабатические реакторы, их математические модели.
37. Графический метод совместного решения уравнений материального и теплового балансов для стационарного адиабатического реактора идеального смешения непрерывного действия.
38. Изотермические и политропические реакторы, их математические модели.
39. Устойчивость теплового режима в реакторе.
40. Выбор типа реактора или системы из нескольких реакторов с учётом теплового режима.
41. Линия оптимальных температур. Способы осуществления (схемы) оптимального температурного режима обратимых экзотермических процессов.
42. Конструктивные типы реакторов для проведения гомогенных, гетерогенных некаталитических и гетерогенно-каталитических процессов.
43. Место и роль термодинамики, химической и макроскопической кинетики, катализа в технологии на примере промышленного решения проблемы связывания азота. Физико-химические основы выбора оптимальных условий. Технологическое оформление процесса синтеза аммиака. Основные направления в развитии производства аммиака.
44. Сопоставьте альтернативные способы получения водорода (вариации способов производства: термохимический, электрохимический и термоконверсионный).
45. Сопоставьте альтернативные способы получения серной кислоты (вариации сырья и схемы окисления диоксида серы в триоксид).
46. Основные виды углеродсодержащего сырья и методы его переработки.
47. Сопоставьте альтернативные способы производства полиэтилена (вариации параметров процесса, в частности, давления).
48. Технология нефти. Продукты переработки нефти.
49. Производство жидких топлив. Основные требования, предъявляемые к карбюраторным и дизельным топливам. Октановое и цетановое число.
50. Основной органический синтез. Производство метанола.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Теоретическая подготовка к лабораторным занятиям и промежуточной аттестации может осуществляться по следующим литературным источникам:

### **а) основная литература:**

Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2005.

Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 2004.

Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./ Под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006.

Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". – С-Пб.: Химиздат, 2003.

Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). – С-Пб.: Химиздат, 2009.

### **б) дополнительная литература:**

Бесков В.С. Общая химическая технология. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2005.

Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В 2<sup>х</sup> т. М.: Химия, 1995.



- Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: В 2<sup>х</sup> т. - М.: Химия, 1981. Основы химической технологии. / Под ред. Мухленова И.П. - М.: Высш. шк., 1991.
- Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987.
- Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств - М.: Высш. шк., 1991.
- Игнатенков В.И., Бесков В.С. Примеры и задачи по общей химической технологии. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2006.
- Бродянский В.М. и др. Эксергетический метод и его приложения. - М: Энергоатомиздат, 1988.
- Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М: Наука, 1987.
- Химико-технологические системы: Синтез, оптимизация и управление / Под ред. Мухленова И.П. - Л.: Химия, 1986.
- Катализ в промышленности: В 2<sup>х</sup> т. / Под ред. Б. Лича - М: Мир, 1986.
- Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. - М.: Химия, 1969.
- Корытцева А.К., Петьков В.И. Химические реакторы. Введение в теорию и практику: учебное пособие. – С-Пб.: Лань, 2019.
- 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.
- Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс [Электронный ресурс] : в 2 кн. / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.] ; Под ред. В. Г. Айнштейна. - 5-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 1758 с.: ил. - ISBN 978-5-9963-2214-5.
- Теоретические основы и технология переработки пластических масс: Учебник/В.Г.Бортников - 3изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-16-009639-1, 400 экз
- Физико-химические основы процессов тепломассообмена: Учебное пособие / Архипов В.А. - Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 199 с.: ISBN 978-5-4387-0539-0
- в) **программное обеспечение** и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

он-лайн курс «Промышленные химико-технологические процессы»

<https://mooc.unn.ru/enrol/index.php?id=68>

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии на сайтах издательств «Юрайт» (<http://www.urait.ru/>) и электронных библиотечных системах ННГУ (<http://www.lib.unn.ru/ebs.html>), доступ к которым предоставлен студентам. Сайты издательств содержат произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонды библиотек сформированы с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой также предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по есте-

ственным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения. Для обучения студентов названной дисциплины имеются в наличии специальный кабинет с необходимым лабораторным оборудованием (141 ауд, 2 корпус). Материально-техническое обеспечение лабораторного практикума – лаборатория химической технологии, оснащенная оборудованием: теплообменниками, термостатами, электропечами различной конструкции, химическими реакторами, ионообменными и ректификационными колоннами, а также различным измерительным и аналитическим оборудованием, персональными компьютерами. Имеется вытяжной шкаф, химическая посуда общего и специального назначения; сушильный шкаф, дистиллятор, технические и аналитические весы.

Аудитория для проведения семинарских занятий (140 корп. 2) также оснащена необходимым оборудованием: стационарным мультимедийным проектором, ноутбуком с выходом в сеть Интернет, доской и мелом.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду (205 корп. 1).

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: пр. Гагарина, 23, корп. 2, ауд. 328	Комплект специализированной мебели, Доска для мела ДК 11 Э 3012 (3 элемента); технические средства: проекционный экран ScreenMedia Goldview настенный, переносной мультимедийный проектор, ноутбук Lenovo G770	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows 7 Home Basic OA CIS and GE, лицензия OEM</li> <li>• Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic Open 1 License No Level, лицензия №60411808, дата выдачи 24.05.2012 г.</li> </ul>
Помещение для самостоятельной работы пр. Гагарина, 23, корп. 1, ауд. 205	Комплект специализированной мебели, персональные компьютеры, имеется выход в интернет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows Professional 10, Лицензия № 67001233, дата выдачи 09.06.2016 г.</li> <li>• Microsoft Office MS Office Standard 2013; серверная лицензия MS SQL Server Лицензия № 65097676, дата выдачи 23.04.2015 г.</li> </ul>
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа пр. Гагарина, 23, корп. 5, ауд.308	Комплект специализированной мебели; технические средства: переносной проекционный экран DRAPER DIPLOMAT 60x60 MW BlackCase, мультимедийный проектор BenQ MP-512 DLP, ноутбук Acer Extensa 5620Z T2390	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г.</li> <li>• Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.</li> </ul>

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа пр. Гагарина, 23, корп. 2, ауд. 140	Комплект специализированной мебели; технические средства: мультимедийный проектор Benq MP610, ноутбук Acer Aspire 5315-301G08, переносной проекционный экран DRAPER DIPLOMAT 60x60 MW BlackCase имеется выход в интернет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г.</li> <li>• Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.</li> </ul>
--	--	---

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия».

Авторы:

к.х.н., доцент \_\_\_\_\_ Петьков В.И.

к.х.н., доцент \_\_\_\_\_ Коротцева А.К.

Рецензент:

С.н.с. ИХВВ РАН, к.х.н. \_\_\_\_\_ Суханов М.В.

Заведующий кафедрой химии твердого тела,

д.х.н., профессор \_\_\_\_\_ Сулейманов Е.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии химического факультета  
от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.