

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

## **УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
высокомолекулярных соединений  
и коллоидной химии  
  
А.С. Шестаков

23.05.2025 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Б1.О.15 Химическая технология**

- 1. Код и наименование специальности:** 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия
  - 2. Специализация:** Фундаментальная химия в профессиональном образовании
  - 3. Квалификация выпускника:** Химик. Преподаватель химии
  - 4. Форма обучения:** Очная
  - 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** высокомолекулярных соединений и коллоидной химии
  - 6. Составители программы:** Шестаков Александр Станиславович, д.х.н., доцент  
Вандышев Дмитрий Юрьевич, к.х.н., доцент

Вандышев Дмитрий Юрьевич, к.х.н., доцент

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- формирование основ технологического мышления;
- раскрытие взаимосвязи между развитием химической науки и химической технологии;
- подготовка выпускников университетов к работе по созданию перспективных процессов, материалов и технологических схем.

*Задачи учебной дисциплины:*

- формирование способности определять рациональный путь создания химико-технологического процесса;
- формирование способности находить способы решения экологических проблем, возникающих при создании химико-технологического процесса;
- развитие способности выбирать наиболее адекватный способ аппаратурного оформления химико-технологического процесса.

## **10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Обязательная часть Блока 1. Дисциплины (модули)

*Требования к входным знаниям, умениям и навыкам:* знать базовые разделы математики, физики и прикладной механики, химии, биологии; уметь проводить математические, физические, химические и химико-технологические расчеты с привлечением необходимого математического аппарата, физических и химических формул, химических реакций. Дисциплина является предшествующей для курса «Высокомолекулярные соединения».

## **11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	ОПК-1.1	Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результатов расчетов свойств веществ и материалов	<b>Знать:</b> Основные закономерности химической технологии как науки. Влияние химических процессов на окружающую среду. <b>Уметь:</b> Соотносить теоретические знания с практическими задачами химической технологии. Документировать результаты экспериментов и расчётов в соответствии с научными стандартами. <b>Владеть:</b> Навыками работы с современным лабораторным оборудованием для анализа и моделирования технологических процессов.
		ОПК-1.2	Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии	<b>Знать:</b> Современные подходы и технологии для создания материалов с заданными свойствами. Актуальные проблемы и решения в области энергетики и ресурсосбережения. <b>Уметь:</b> Использовать лабораторное оборудование для проведения исследований. <b>Владеть:</b> Методами поиска и анализа профессиональной информации.
		ОПК-1.3	Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	<b>Знать:</b> Применение химических достижений в различных отраслях, таких как сельское хозяйство и промышленность. <b>Уметь:</b> Интегрировать знания из различных областей науки для решения химико-технологических задач. <b>Владеть:</b> Навыками эффективного использования

				информационных ресурсов в профессиональной деятельности.
ОПК-2	Способен проводить химический эксперимент с использованием современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности	ОПК-2.1	Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности	<p><b>Знать:</b> Типы чрезвычайных ситуаций, присущих промышленным производствам и лабораторным условиям. Физико-химические и токсикологические свойства опасных веществ.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять эффективные методы защиты от воздействия токсичных и опасных веществ. Оказывать первую помощь при инцидентах, связанных с воздействием химических веществ.</p> <p><b>Владеть:</b> Компетенциями безопасного ведения лабораторных работ, включая использование средств индивидуальной защиты.</p>
		ОПК-2.2	Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b> Экологические аспекты и проблемы, связанные с производством и применением химических продуктов, а также стратегии их решения.</p> <p><b>Уметь:</b> Создавать и внедрять методики для синтеза и анализа новых веществ и материалов. Эффективно устранять последствия утечек химических реагентов.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками работы с современным лабораторным оборудованием для проведения точных экспериментов и анализа свойств веществ.</p>
		ОПК-2.3	Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием современного научного оборудования	<p><b>Знать:</b> Принципы эффективного и безопасного управления техногенными системами и перехода на безотходные технологии.</p> <p><b>Уметь:</b> Эксплуатировать современное научное оборудование для детального исследования свойств материалов.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками проведения экспериментов с неукоснительным соблюдением правил техники безопасности и использованием передового оборудования.</p>
ОПК-3	Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения	ОПК-3.1	Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	<p><b>Знать:</b> Принципы аппаратурного оформления лабораторий химико-технологического профиля. Особенности эксплуатации установок и аппаратуры в химических производствах.</p> <p><b>Уметь:</b> Определять оптимальные условия для проведения технологических процессов. Решать типовые задачи в области химической технологии.</p> <p><b>Владеть:</b> Техникой работы с лабораторными устройствами, используемыми в химической технологии.</p>
		ОПК-3.2	Использует стандартное программное обеспечение и специализированные базы данных при решении задач профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b> Требования к аппаратуре и источники погрешностей в физико-химических методах. Проблемы воспроизводимости результатов в химической технологии.</p> <p><b>Уметь:</b> Эффективно использовать программное обеспечение и базы данных для решения профессиональных задач.</p>

				<b>Владеть:</b> Методами регистрации и обработки данных, полученных с использованием лабораторного оборудования. Способами совершенствования профессиональных знаний и навыков через информационные ресурсы.
--	--	--	--	--

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 6 /216.

**Форма промежуточной аттестации** зачет с оценкой, экзамен

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость		
		По семестрам		
		6 семестр	7 семестр	...
Аудиторные занятия	128	54	74	
в том числе:	лекции	54	36	18
	практические	18	18	-
	лабораторные	56	-	56
Самостоятельная работа	52	18	34	
в том числе: курсовая работа (проект)	-	-	-	
Форма промежуточной аттестации (зачет с оценкой; экзамен – 36 час.)	36	-	36	
Итого:	216	72	144	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
<b>Раздел 1. Общая химическая технология (6 семестр)</b>			
1.1	Химическая технология и химическое производство	<p><b>1. Основные определения и положения.</b> Химическая технология. Объект химической технологии. Межотраслевой характер химической технологии. Развитие химических производств и химической технологии. Место химической технологии в промышленной сфере и методов химической технологии в нехимических отраслях промышленности. Системный анализ сложных схем и взаимодействий элементов схемы – понятие и содержание метода. Физическое и математическое моделирование, определение и основные понятия, их место в инженерно-химических исследованиях и разработках. Место и значение натурного и вычислительного эксперимента. Содержание и задачи учебного курса.</p> <p><b>2. Химическое производство.</b> Понятие о химическом производстве. Многофункциональность химического производства. Общая структура химического производства. Основные подсистемы химического производства. Основные технологические компоненты химического производства. Качественные и количественные показатели химического производства: технологические, экономические, эксплуатационные, социальные.</p> <p><b>3. Сырьевые ресурсы, вода и энергия в химическом производстве.</b> Классификация сырьевых ресурсов по различным признакам – фазовому состоянию, происхождению, источникам. Минеральное сырье (руды и полезные ископаемые), органическое природное сырье (горючие ископаемые), растительное и животное сырье, вторичное сырье – их использование и пути переработки. Основные способы первичной обработки сырья (обогащение, очистка, подготовка к транспортировке и переработке). Понятие, сущность и примеры углубления использования сырья, комбинирования производств и комплексной переработки сырья. Значение и использование воды в химических</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>

		<p>производствах. Источники воды. Требования к технологической и бытовой воде. Промышленная подготовка воды и методы ее очистки от примесей. Основные методы контроля качества воды. Экономия водопотребления в производстве. Водооборотные системы. Виды и источники энергии в химической промышленности. Масштабы потребления и способы уменьшения энергетических затрат. Сущность и примеры регенерации и рекуперации энергии. Энерготехнологические системы. Вторичные энергетические ресурсы.</p>	
1.2	Теоретические основы химических процессов и реакторов.	<p><b>1. Основные определения и положения.</b> Физико-химические закономерности химических превращений – стехиометрические, термодинамические, кинетические. Показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективности, скорости реакции и превращения реагентов.</p> <p><b>2. Химические процессы.</b> Определение. Классификация химических процессов по различным признакам – химическим (вид химической реакции, термодинамические характеристики, схема превращений) и фазовым (число и агрегатное состояние фаз). Гомогенный химический процесс. Определение и примеры. Влияние химических признаков и условий протекания процесса на его показатели. Способы интенсификации. Понятие оптимальных температур. Оптимальные температуры для обратимых и необратимых эндо- и эндотермических реакций. Гетерогенный (некатализитический) химический процесс. Определение и примеры. Структура процесса и его составляющие (стадии). Наблюдаемая скорость химического превращения. Области (режимы) протекания процесса, лимитирующая стадия. Гетерогенный химический процесс "газ (жидкость) – твердое". Обоснование, построение и анализ математической модели для реакций горения (модель "сжимающаяся сфера") и топохимической (модель "с невзаимодействующим ядром"). Наблюдаемая скорость превращения, время превращения и пути интенсификации для различных областей протекания процесса. Гетерогенный химический процесс "газ (жидкость) – жидкость". Обоснование, построение и анализ математической модели. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Пути интенсификации для различных режимов процесса. Катализитический процесс. Определение, классификация, примеры. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе. Обоснование, построение и анализ математической модели на каталитической поверхности и в пористом зерне катализатора. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Степень использования внутренней поверхности. Пути интенсификации каталитических процессов.</p> <p><b>3. Химические реакторы.</b> Определение и назначение химического реактора. Реакторы в химических и нехимических отраслях промышленности. Обзор типов химических реакторов, их структурные элементы (реакционная зона, устройства ввода и вывода, смешения, разделения и распределения потоков, теплообменные элементы), основные процессы и явления в них. Систематизация процессов в химическом реакторе по масштабу их протекания: химическая реакция, химический процесс в элементарном объеме, процессы в реакционном элементе и в реакторе в целом, их взаимосвязь и иерархическая структура математической модели процесса в реакторе. Примеры процессов в различных видах химических реакторов. Классификация процессов в реакторах по различным</p>	<p>ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)»  <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a></p>

		<p>признакам – вид химического процесса, организация потоков реагентов (схема движения реагентов через реактор, структура потоков в реакционной зоне), организация тепловых потоков (тепловой режим, схема теплообмена), стационарность процесса.</p> <p>Обоснование и построение математической модели процесса в реакторах различного типа как системы уравнений материального и теплового балансов на основе данных о структуре потока, химических превращениях, явлениях переноса тепла и вещества и их взаимодействий. Систематизация и классификация математических моделей процессов в реакторах.</p> <p>Изотермические процессы в химическом реакторе. Влияние структуры потока (идеальное смешение и вытеснение), стационарности процесса (проточный и периодический), параметров и условий протекания процесса (температура, концентрация, давление, объем реакционной зоны, время), вида химической реакции (простая и сложная, обратимая и необратимая) и ее параметров на профили концентраций и показатели процесса в реакторе (степень превращения, выход продукта, селективность процесса).</p> <p>Основы расчета процесса в реакторе. Сопоставление эффективности процессов в реакторах, описываемых моделями идеального смешения и вытеснения.</p> <p>Неизотермические процессы в химических реакторах. Организация тепловых потоков и режимов в химических реакторах. Распределение температуры, концентраций и степени превращения в реакторе в режимах идеального смешения и вытеснения, адиабатическом и с теплообменом. Связь температуры и степени превращения в адиабатическом процессе. Сопоставление с изотермическим режимом. Число и устойчивость стационарных режимов в реакторах идеального смешения.</p> <p><b>4. Промышленные химические реакторы.</b></p> <p>На конкретных примерах предметно рассматриваются промышленные реакторы для проведения гомогенных, гетерогенных и катализитических процессов – типы реакторов, конструктивные характеристики и особенности режима, области использования.</p>	
1.3	Химическое производство, как химико-технологическая система.	<p><b>1. Структура и описание химико-технологической системы.</b></p> <p>Химическое производство как химико-технологическая система (ХТС). Понятие системы и ХТС. Состав ХТС: элементы, связи, подсистемы. Элементы ХТС, классификация по виду процессов и назначению. Технологические связи элементов ХТС (потоки). Последовательная, параллельная, разветвленная, последовательно-обводная (байпас), обратная (рецикл) технологические связи. Их схемы и назначение.</p> <p>Описание ХТС. Виды моделей ХТС - описательные и графические. Описательные модели – химическая схема и математическая модель. Графические модели – функциональная, технологическая, структурная и другие (специальные) схемы. Назначение, применение и взаимосвязь моделей.</p> <p><b>2. Анализ ХТС.</b></p> <p>Понятие, задачи и результаты анализа ХТС – состояние ХТС, материальный и тепловой балансы, показатели химического производства. Свойства ХТС как системы: взаимосвязанность режимов элементов, различие оптимальности элемента одиночного и в системе, устойчивость и существование стационарных режимов и др.</p> <p>Материальный и тепловой балансы. Методика составления и расчета материальных и тепловых балансов ХТС и ее подсистем. Особенности расчета балансов в схемах с рециклом. Формы представления балансов (таблицы, диаграммы и др.).</p> <p>Материальный баланс для массообменных и реакционных элементов. Использование стехиометрических, термодинамических и межфазных балансовых соотношений.</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>

		<p>Степень использования сырьевых ресурсов. Энергетический (по полной энергии) баланс и КПД.</p> <p><b>3. Синтез ХТС.</b></p> <p>Понятие и задачи синтеза ХТС. Основные этапы разработки ХТС. Роль математических и эвристических методов.</p> <p>Основные концепции при синтезе ХТС: полное использование сырьевых и энергетических ресурсов, минимизация отходов, оптимальное использование аппаратуры. Их содержание и способы реализации. Комбинированные производства, совмещенные процессы, вторичные энергетические ресурсы, энерготехнологические системы, перестраиваемые ХТС, замкнутые, малоотходные производства – их понятия, особенности и применение. Однородные технологические схемы: система рекуперативного теплообмена, система разделения многокомпонентной смеси, система реакторов. Основы построения их оптимальной структуры</p>	
1.4	Промышленные химические производства	Физико-химические основы концепции построения технологической схемы производства и его подсистем. Технологии основных органических и неорганических продуктов.	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
1.5	Современные тенденции в развитии химической технологии. Основы промышленной экологии.	Текущее состояние химической промышленности в мире и тенденции ее развития. Перспективные источники сырья и энергии. Кластеризация химической промышленности. Совмещенные процессы. Гибкие и перестраиваемые технологические схемы. Новые химико-технологические процессы и способы получения продуктов. Промышленная экология: основные понятия. Методы, нормативная документация.	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
<b>Раздел 2. Процессы и аппараты химических производств (7 семестр)</b>			
1.6	Основы гидромеханики и транспортировка жидкостей	<p>Введение. Основные понятия и закономерности дисциплины процессы и аппараты химической технологии. Классификация процессов. Непрерывные и периодические, стационарные и нестационарные процессы. Жидкости и газы. Идеальная жидкость. Силы, действующие в жидкости. Напряжения в жидкостях и газах (тангенциальные и нормальные). Модель непрерывной среды. Понятие физического элементарного объема. Дифференциальная и интегральная форма уравнения неразрывности. Баланс сил при движении вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение Навье-Стокса и его физический смысл. Уравнение движения идеальной жидкости Эйлера. Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера. Гидростатика. Практические приложения основного уравнения гидростатики.</p> <p>Гидродинамика. Энергетический баланс стационарного движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его практические приложения (истечение жидкостей, трубка Пито-Прандтля). Принципы измерения скоростей и расходов жидкости дроссельными приборами и пневмометрическими трубками. Определение расходов при истечении жидкостей через отверстия или насадки.</p> <p>Основные понятия гидродинамики. Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр. Гидродинамические режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный. Опыты Рейнольдса. Число Рейнольдса и его критические значения. Понятие турбулентности. Представления о гидродинамическом пограничном слое при течении по трубам и каналам и при обтекании тел. Распределение скоростей по радиусу трубы постоянного сечения при ламинарном стационарном течении. Уравнение Пуазеля. Эпюры скоростей при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубе.</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
1.7	Режимы течения и сопротивление	Гидродинамическое сопротивление при течении жидкостей и газов. Расчет потерь на трение (уравнение Дарси-Вейсбаха) и на местные сопротивления. Расчет напора для перемещения жидкостей через систему трубопрово-	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/">https://edu.vsu.ru/</a>

		<p>дов и аппаратов. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов; выбор скоростей потоков и оптимального диаметра трубопроводов.</p> <p>Элементы теории подобия в гидродинамике. Подобное преобразование уравнения Навье-Стокса. Безразмерные переменные - критерии гидродинамического подобия (Эйлера, Рейнольдса, Фруда, гомохронности), их физический смысл. Критериальное уравнение движения вязкой жидкости.</p> <p>Насосы. Основные параметры работы насосов: производительность, напор, мощность, кпд. Расчет напора насоса. Определение допустимой высоты всасывания. Явление кавитации и его предотвращение. Характеристики центробежных и плунжерных насосов. Работа центробежных насосов на гидравлическую сеть.</p> <p>Классификация насосов. Объемные и динамические насосы. Расчет производительности поршневых насосов простого и двойного действия. Схемы, изображения, достоинства и недостатки следующих насосов: поршневого, плунжерного, диафрагмового (мембранныго), шестеренчатого, центробежного, осевого, а также монтееко.</p>	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">course/view.php?id=2311</a>
1.8	Теплообменные процессы	<p>Общие вопросы теплопередачи. Уравнение теплового баланса без изменения и при изменении агрегатного состояния. Закон Фурье.</p> <p>Потенциал переноса. Уравнение Фурье-Кирхгофа. Элементы теории подобия в теплообмене.</p> <p>Теплопроводность через плоские и цилиндрические стенки. Коэффициенты теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел. Перенос тепла излучением. Лучепрасспускание газов. Расчет толщины тепловой изоляции.</p> <p>Теплопередача в поверхностных теплообменниках. Аддитивность термических сопротивлений.</p> <p>Расчет коэффициентов теплоотдачи в процессах теплообмена без изменения и с изменением агрегатного состояния.</p> <p>Расчет средней движущей силы процесса теплопередачи. Влияние взаимного направления движения теплоносителей на движущую силу теплопередачи.</p> <p>Промышленные теплоносители: дымовые газы, водяной пар, пары высокотемпературных органических теплоносителей, вода, минеральные масла, высокотемпературные органические теплоносители. Нагрев электрическим током. Теплоносители для охлаждения (хладагенты): воздух, вода, холодильные рассолы, аммиак, фреоны (хладоны).</p> <p>Теплообменные аппараты химических производств. Коужутрубчатые теплообменники. Пластинчатые теплообменники. Двухтрубные теплообменники. Оросительные теплообменники. Погружные теплообменники. Оребрённые теплообменники. Спиральные теплообменники. Аппараты с двойными стенками (рубашками). Блочные теплообменники. Градирни. Регенеративные теплообменники.</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
1.9	Массоперенос и разделение систем	<p>Классификация и основные понятия процессов массообмена. Способы выражения состава фаз. Понятие о массопередаче и массоотдаче. Направления переноса вещества из фазы в фазу. Материальный баланс непрерывного процесса. Уравнения рабочих линий.</p> <p>Основное уравнение массопередачи. Механизмы переноса массы. Диффузионный пограничный слой; профили концентраций и скоростей в потоках. Аддитивность диффузионных сопротивлений. Расчет движущей силы массопередачи.</p> <p>Уравнения переноса массы и энергии. Дифференциальное уравнение конвективного переноса массы. Уравнение неразрывности для двухкомпонентной системы.</p> <p>Моделирование конвективного массообмена. Критериальные уравнения конвективного массообмена.</p> <p>Расчет массообменных аппаратов с одним распределяемым компонентом.</p> <p>Единицы переноса.</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>

		<p>Эффективность по Мерфри.</p> <p>Численный метод расчёта массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Расчет «От ступени к ступени».</p> <p>Абсорбция. Минимальный и оптимальный расход поглотителя. Степень извлечения. Направление процесса массопередачи. Классификация массообменных процессов.</p> <p>Конструкции, область применения абсорберов различных типов.</p> <p>Равновесие в системе пар-жидкость. Перегонка.</p> <p>Ректификация. Материальный баланс, уравнения рабочих линий. Минимальное и действительное флегмовое число.</p> <p>Расчет диаметра и высоты ректификационной колонны. Тепловой баланс колонны. Схемы установок для непрерывной, периодической экстрактивной и азеотропной ректификации.</p> <p>Разделение гетерогенных систем. Основные понятия и зависимости процесса осаждения. Конструкции отстойников.</p> <p>Неподвижные зернистые слои и псевдоожиженные слои. Основные зависимости. Конструкции аппаратов с псевдоожиженным слоем.</p> <p>Фильтрование. Основные определения и зависимости. Конструкции фильтров.</p>	
<b>2. Практические занятия (6 семестр)</b>			
2.1	Химическая технология и химическое производство	<p>1. Анализ структуры химического производства и сырьевых потоков:</p> <p>Составление материальных балансов для элементов ХТС (реакторы, теплообменники).</p> <p>Определение степеней использования сырья и энергии в условиях рецикла.</p> <p>Расчет энергетических затрат при обогащении минерального сырья.</p> <p>Анализ экономической эффективности комплексной переработки вторичного сырья.</p> <p>2. Водный и энергетический баланс в химических производствах:</p> <p>Проектирование водооборотных систем с учетом требований к очистке и расходу воды.</p> <p>Расчет энергопотребления при термообработке нефти и угля.</p> <p>Оценка эффективности рекуперации тепла в системах "пиролиз–газификация".</p> <p>Моделирование циклов использования вторичных энергоресурсов (выбросы, отходы).</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
2.2	Теоретические основы химических процессов и реакторов.	<p>1. Расчеты химических превращений и параметров реакций:</p> <p>Определение выхода продукта, селективности и степени превращения для сложных реакций (например, синтез аммиака).</p> <p>Моделирование влияния температуры и давления на кинетику обратимых реакций (модель адиабатического реактора).</p> <p>Анализ условий максимальной эффективности для экзо- и эндотермических процессов.</p> <p>Расчет времени превращения для топохимических реакций (модель "неподвижное ядро").</p> <p>2. Проектирование химических реакторов:</p> <p>Сравнительный анализ производительности реакторов идеального смешения и вытеснения (на примере синтеза метанола).</p> <p>Расчет температурных профилей в адиабатических и изотермических реакторах (модель теплового баланса).</p> <p>Оптимизация структуры структурного потока в мембранных и каталитических реакторах.</p> <p>Проектирование энергетически эффективных схем с рециклиром продуктов (например, оксид азота → аммиак → азотная кислота).</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
2.3	Химическое производство,	1. Моделирование ХТС:	ЭУМК «Химиче-

	как химико-технологическая система.	<p>Составление функциональных и технологических схем ХТС (пример: синтез полиэтилена).</p> <p>Расчет материального баланса с учетом нестационарных режимов работы элементов (периодические операции).</p> <p>Использование программных моделей (Aspen, gPROMS) для определения стационарных и нестационарных режимов.</p> <p>Оптимизация структуры рекуперативных и регенеративных теплообменных систем.</p> <p>2. Оценка экологических и экономических параметров ХТС:</p> <p>Расчет выбросов CO<sub>2</sub> и других загрязнителей при различных сценариях производства (нефтепереработка, производство пластиков).</p> <p>Сравнение затрат на использование первичных и вторичных энергетических ресурсов.</p> <p>Моделирование замкнутых "нулевых отходов" систем (пример: переработка углеродистых отходов).</p> <p>Анализ влияния технологических решений на социальные показатели (занятость, безопасность).</p>	ская технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
2.4	Промышленные химические производства.	<p>Производство серной кислоты.</p> <p>Технология минеральных удобрений.</p> <p>Технология производства аммиака.</p> <p>Технология азотной кислоты</p> <p>Первичная переработка нефти.</p> <p>Деструктивная переработка нефти.</p> <p>Синтезы на основе CO и H<sub>2</sub>.</p> <p>Технология получения формальдегида</p> <p>Технология получения ацетилена</p> <p>Технология получения уксусной кислоты</p> <p>Коксохимическое производство.</p> <p>Производство чугуна.</p> <p>Производство стали. Мидрекс-процесс.</p> <p>Меласса. Производство этилового спирта.</p> <p>Биотехнологические процессы. Получение лизина.</p> <p>Производство синтетических каучуков.</p> <p>Технология получения резиновых изделий.</p> <p>Производство портландцемента.</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
2.5	Современные тенденции в развитии химической технологии. Основы промышленной экологии.	<p>1. Синтез инновационных ХТС:</p> <p>Разработка схем совмещенных процессов (например, газификация угля с синтезом метанола и водорода).</p> <p>Моделирование перестраиваемых ХТС (гибкие производственные линии для биоэтанола и альтернативных материалов).</p> <p>Оценка экономической эффективности кластерных химических районов.</p> <p>Прогнозирование влияния новых энергетических сценариев (солнечная энергия, водородная экономика) на процессы ХТС.</p> <p>2. Применение цифровых методов и математического моделирования:</p> <p>Написание скриптов на Python для численного решения уравнений химической кинетики и теплообмена.</p> <p>Построение графических схем ХТС с использованием UML и диаграмм последовательности.</p> <p>Визуализация данных о параметрах ХТС (например, тепловые карты, сферические диаграммы).</p> <p>Сравнение результатов физического моделирования и вычислительных экспериментов (кавитационные эффекты в насосах, сепарационные процессы).</p>	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>
<b>3. Лабораторные занятия (7 семестр)</b>			
3.1	Химическая технология и химическое производство	Решение задач на основы материального и энергетического баланса, массо- и теплообмену, основам гидродинамики.	
3.2	Теоретические основы химических процессов и реакторов	<p>Реакторы в режимах идеального смешения и идеального вытеснения</p> <p>Окисление диоксида серы (процессы и реакторы)</p> <p>Получения гидроксида натрия каустификацией содового раствора</p> <p>Кинетика реакций дегидратации в твердых фазах</p> <p>Изучение работы реактора идеального смешения перио-</p>	

		дического действия Кинетика омыления этилацетата в кислой и щелочной средах Изучение кинетических закономерностей реакций этерификации и определение кислотного числа и числа омыления полученного эфира Кинетические закономерности при получении Диана	
3.3	Химическое производство, как химико-технологическая система	Выделение хлористого калия из сильвинита Синтез полиакриламида в растворе и исследование кинетики щелочного гидролиза мономера и полимера	
3.4	Промышленные химические производства	Изучение фосфорных удобрений Выделение пектина из сырья растительного происхождения	
3.5	Современные тенденции в развитии химической технологии. Основы промышленной экологии	Определение сахара в корнеплодах и фруктах методом экстракции Анализ нефтепродуктов Анализ синтетических латексов Определение серы в металлах и угле Анализ аммиачной силитры, карбамида, кальцинированной соды Изучение фосфорных удобрений Выделение пектина из сырья растительного происхождения	
3.6	Основы гидромеханики и транспортировка жидкостей	Исследование режимов течения жидкости Гидродинамическое сопротивление трубопровода Изучение профиля скоростей в сечении трубопровода Изучение работы центробежного насоса Гидродинамическая структура потока в аппарате с мешалкой	
3.7	Режимы течения и сопротивление	Исследование режимов течения жидкости Гидродинамическое сопротивление трубопровода	
3.8	Теплообменные процессы	Теплопередача в двухтрубном теплообменнике Изучение теплопередачи в четырёхходовом кожухотрубчатом теплообменнике Теплопередача в кожухотрубчатом стеклянном теплообменнике Интенсивность теплопередачи в пластинчатом теплообменнике Время охлаждения жидкости при нестационарном теплообмене	
3.9	Массоперенос и разделение систем	Изучение массоотдачи в жидкой фазе Определение коэффициента массоотдачи в газовой фазе Разделение простой перегонкой бинарной смеси изопропанол–вода Простая перегонка бинарной смеси вода–этиленгликоль Изучение процесса периодической ректификации бинарной смеси жидкостей Разделение растворов низкомолекулярных веществ обратным осмосом Определение скорости свободного осаждения твёрдых частиц и всплытия пузырей в жидкостях Гидродинамика неподвижного и псевдоожженного зернистого слоя Изучение процесса фильтрования суспензий	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Химическая технология и химическое производство	6	2	8	4	20
2	Теоретические основы химических процессов и реагентов	12	4	6	6	28
3	Химическое производство, как химико-технологическая система	6	4	6	6	22
4	Промышленные химические производства	6	6	6	6	24

5	Современные тенденции в развитии химической технологии. Основы промышленной экологии	6	2	6	6	20
6	Основы гидромеханики и транспортировка жидкостей	6	-	6	6	18
7	Режимы течения и сопротивление	4	-	6	6	16
8	Теплообменные процессы	4	-	6	6	16
9	Массоперенос и разделение систем	4	-	6	6	16
Итого:		54	18	56	52	180

#### **14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:**

В учебном процессе используются следующие формы работы:

- проведение лекций,
- проведение практических занятий и лабораторных работ,
- занятия в интерактивной форме (дискуссии),
- внеаудиторная самостоятельная работа студентов.

Студенты знакомятся с теоретическим материалом в процессе лекционного курса, самостоятельно прорабатывая его с использованием рекомендованной учебной литературы и учебно-методических пособий (п. 15). Лабораторные занятия проводятся с целью:

1. Проработки теоретических основ изучаемых процессов и оборудования.
2. Обучения основным приемам проведения расчетов характеристик процессов и оборудования.
3. Выполнения практической части работы.
4. Обработка полученных результатов и выбора оптимальных условий функционирования конкретных процессов и оборудования.

На лабораторных занятиях студенты либо индивидуально, либо в составе малой группы выполняют учебно-исследовательскую работу. В ходе лабораторных работ студенты приобретают навыки обращения с химическими реактивами и лабораторным оборудованием, самостоятельно осуществляют эксперименты, регистрируют, анализируют и интерпретируют результаты. Защита лабораторной работы включает оформление результатов, устную беседу с преподавателем о полученных данных и основных теоретических понятиях по теме работы.

Целью практических занятий является систематизация и обобщение знаний по изучаемой теме или разделу, формирование умений работать с дополнительными источниками информации, со-поставлять и сравнивать точки зрения, высказывать свою точку зрения и т.п. Подготовка к практическим занятиям предполагает самостоятельную проработку учебной литературы, лекций и интернет-источников по сформулированным вопросам.

Самостоятельная работа предполагает, как регулярную подготовку студента к различным формам занятий, так и выполнение отдельных заданий в процессе разбора теоретических положений в ходе проведения занятий. Внеаудиторная самостоятельная работа включает проработку конспектов предыдущих лекций, выполнение заданий в рамках подготовки к лабораторным и практическим занятиям, конспектирование материала по темам, выносимым на самостоятельное изучение.

Текущая аттестация обеспечивает проверку освоения учебного материала, приобретения знаний, умений и навыков в процессе аудиторной и самостоятельной работы студентов (ОПК-1, ОПК-2 и ОПК-3). Она включает регулярные отчеты по лабораторным работам, работе на практических занятиях, выполнение тестовых и иных заданий к лекциям. При подготовке к текущей аттестации студенты изучают рекомендованную преподавателем литературу по темам лекционных, практических и лабораторных занятий, самостоятельно осваивают понятийный аппарат и закрепляют теоретические знания. Планирование и организация текущих аттестаций знаний, умений и навыков осуществляется в соответствии с содержанием рабочей программы и календарно-тематическим планом с применением фонда оценочных средств. Текущая аттестация является обязательной, ее результаты оцениваются в балльной системе и могут быть учтены при промежуточной аттестации обучающихся.

При подготовке к промежуточной аттестации (зачету с оценкой, экзамену) необходимо опираться на рекомендованные литературные источники, материал лекций, практических и лабораторных работ (теоретическая часть), образовательные интернет-ресурсы. Необходимо структурировать

весь материал, рекомендуется по каждому вопросу составить краткий опорный конспект, составить словарь ключевых терминов. Для повышения эффективности, по мере повторения материала, необходимо проводить анализ взаимосвязи различных разделов дисциплины.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей. Для лиц с нарушением слуха информация по учебной дисциплине предоставляется на бумажном или электронном носителе, допускается присутствие ассистентов и сурдопереводчиков на занятиях. Промежуточная аттестация для таких студентов проводится в письменной форме с общими критериями оценивания; при необходимости время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации с использованием программ-синтезаторов речи, а также использование звукозаписывающих устройств на лекциях. На занятиях также может присутствовать ассистент. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование; время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Студенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата могут проходить часть занятий дистанционно. Промежуточная аттестация для них проводится на общих основаниях, при необходимости процедура экзамена может быть реализована дистанционно.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Харлампиди, Х. Э. Общая химическая технология. Методология проектирования химикотехнологических процессов : учебник / Х. Э. Харлампиди. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1478-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/213269">https://e.lanbook.com/book/213269</a>
2	Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем : учебник для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампиди, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов ; Под редакцией Х. Э. Харлампиди. — 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-9158-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/187593">https://e.lanbook.com/book/187593</a>
3	Разинов, А. И. Процессы и аппараты химической технологии / А. И. Разинов, А. В. Клинов, Г. С. Дьяконов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 688 с. — ISBN 978-5-507-45950-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/292058">https://e.lanbook.com/book/292058</a>
4	Ануфриенко, А. Л. Процессы и аппараты химической технологии. Массообменные процессы : учебное пособие / А. Л. Ануфриенко, В. С. Калекин. — Омск : ОмГТУ, 2017. — 105 с. — ISBN 978-5-8149-2378-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/149055">https://e.lanbook.com/book/149055</a>
5	Захаров, М. К. Процессы и аппараты химических технологий. Гидравлика : учебное пособие / М. К. Захаров, Ю. А. Таран. — Москва : РТУ МИРЭА, 2020. — 90 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167574">https://e.lanbook.com/book/167574</a>
6	Захаров, М. К. Процессы и аппараты химических технологий. Гидромеханические процессы, перемещение жидкостей, сжатие газов : учебное пособие / М. К. Захаров, Ю. А. Таран. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 91 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/176519">https://e.lanbook.com/book/176519</a>
7	Пимнева, Л. А. Промышленная экология : учебное пособие / Л. А. Пимнева, А. А. Загорская. — Тюмень : ТИУ, 2020. — 106 с. — ISBN 978-5-9961-2376-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/237167">https://e.lanbook.com/book/237167</a>
8	Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: в 2 кн./под ред. В.Г. Айнштейна. - М. : Физматкнига : Логос, 2006.- Кн.1. -881с; Кн.2. -1757с.
9	Бесков В.С. Общая химическая технология: Учебник для вузов. – М.:ИКЦ «Академкнига», 2006. – 452с.
10	Общая химическая технология : учебное пособие / составители Ю. Б. Швалёв, Д. А. Горлушко. — 2-е изд., доп. — Томск : ТПУ, 2019 — Часть 1 : Химические процессы и реакторы — 2019. — 187 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/246338">https://e.lanbook.com/book/246338</a>

11	<i>Общая химическая технология : учебное пособие / составители Ю. Б. Швалёв, Д. А. Горлушкин. — 2-е изд., доп. — Томск : ТПУ, 2019 — Часть 2 : Промышленные химико-технологические процессы — 2020. — 193 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/246341">https://e.lanbook.com/book/246341</a></i>
12	<i>Общая химическая технология : учебное пособие / составители Д. А. Горлушкин, Ю. Б. Швалёв. — Томск : ТПУ, 2021 — Часть 3 : Технология катализаторов. Методы приготовления катализаторов — 2021. — 80 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/246299">https://e.lanbook.com/book/246299</a></i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Абалонин Б.Е. Основы химических производств / Б.Е. Абалонин, И.М. Кузнецова, Х.Э. Харлампиidi / - М.: «Химия», 2001. — 472 с.</i>
2	<i>Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю.И. Дытнерский. - М.: Химия, 1995.-Т.1.-400с; Т.2.-383с.</i>
3	<i>Общая химическая технология / под ред А.Г. Амелина – М. «Химия», 1977. – 400 с.</i>
4	<i>Технологические и термодинамические особенности производства аммиака. метод. указания для студентов 4 курса дневн. отделения хим. фак./ сост.: В.А. Кузнецов. -Воронеж : ВГУ, 2004. - 35с.</i>
5	<i>Сафонов М.С. Критерии термодинамического совершенства технологических систем/М.С. Сафонов. - М. : МГУ, 1998. - 73с.</i>
6	<i>Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза / Н.Н. Лебедев. - М.: Химия, 1988. - 738с.</i>
7	<i>Основы технологии переработки пластмасс/под ред. В.Н. Кулезнева, В.К. Гусева. - М. : Химия, 1995.-367с.</i>
8	<i>Комиссаров, Глебов, Гордеев, Вент Химико-технологические процессы [Электронный ресурс]:Учебник и практикум. - Москва: Издательство Юрайт, 2019. - 340 – Режим доступа: <a href="https://www.biblio-online.ru/bcode/427344">https://www.biblio-online.ru/bcode/427344</a></i>
9	<i>Иозеп А. А., Пассет Б. В., Самаренко В. Я., Щенникова О. Б. Химическая технология лекарственных веществ. Основные процессы химического синтеза биологически активных веществ [Электронный ресурс]:учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 356 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/130488">https://e.lanbook.com/book/130488</a></i>
10	<i>Закгейм А. Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]:Учебное пособие. - Москва: Логос, 2012. - 304 с. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/9103.html">http://www.iprbookshop.ru/9103.html</a></i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	<a href="http://www.en.edu.ru/">http://www.en.edu.ru/</a> - Естественно-научный образовательный портал - является составной частью федерального портала "Российское образование". Содержит ресурсы и ссылки на ресурсы по естественно-научным дисциплинам (физика, химия и биология).
3	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a> - информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам».
4	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> –Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
5	<a href="http://www.chem.msu.ru/rus/">http://www.chem.msu.ru/rus/</a> - Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet
6	ЭУМК «Химическая технология (ФПХ)» <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2311</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	<i>Технологические и термодинамические особенности производства аммиака. метод. указания для студентов 4 курса дневн. отделения хим. фак./ сост.: В.А. Кузнецов. -Воронеж : ВГУ, 2004. - 35с.</i>
2	<i>Практикум по общей химической технологии / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: П.О. Кущев, В.А. Кузнецов, С.А. Шестаков. — Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017.— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m17-133.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m17-133.pdf</a></i>
3	<i>Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории с применением химических</i>

## **17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При реализации дисциплины используются классические образовательные технологии без замены аудиторных занятий (лекций, практических и лабораторных занятий) на ДОТ. Основные типы лекций – вводные лекции (в начале изучения дисциплины) и информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации). Проведение текущих аттестаций и промежуточных аттестаций осуществляется в форме устного собеседования по КИМ. Самостоятельная работа по всем разделам предполагает выполнение обязательных письменных домашних заданий.

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или “МООК ВГУ” (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

## **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Учебная аудитория (ауд. 439): доска магнитная меловая мультимедиа-проектор, ноутбук, проектор, экран для проектора WinPro 8, Office Standard 2019, Kaspersky Endpoint Security, Google Chrome, Mozilla Firefox
Лаборатория практикума по химической технологии (ауд. 159): химические лабораторные столы, вытяжной шкаф, наборы химической посуды, реактивы, нагревательные приборы, рН-метр лабораторный АНИОН - 4100, аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ-ЛАБ-01, весы аналитические НТР-224 СЕ Shinko, весы лабораторные ВМ-153, мешалка верхнеприводная ES-8300D, рефрактометр RIDK-101, компьютер, принтер, макеты реакторов WinPro 8, Office Standard 2019, Kaspersky Endpoint Security, Google Chrome, Mozilla Firefox
Помещение для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс (ауд. 271): специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ WinPro 8, OfficeSTD, Kaspersky Endpoint Security, Google Chrome

## **19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Химическая технология и химическое производство	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3	Комплект тестов, контрольная работа (КИМ)
2.	Теоретические основы химических процессов и реакторов	ОПК-2 ОПК-3	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
3.	Химическое производство, как химико-технологическая система	ОПК-2 ОПК-3	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
4.	Промышленные химические производства	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
5.	Современные тенденции в развитии химической технологии. Основы промышленной экологии	ОПК-1 ОПК-2 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
			ОПК-3.2	
6.	Основы гидромеханики и транспортировка жидкостей	ОПК-1 ОПК-2 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
7.	Режимы течения и сопротивление	ОПК-1 ОПК-2 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
8.	Теплообменные процессы	ОПК-1 ОПК-2 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
9.	Массоперенос и разделение систем	ОПК-1 ОПК-2 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Комплект тестов, протокол лабораторных работ, контрольная работа (КИМ).
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой, экзамен				Перечень вопросов КИМ к зачету с оценкой и экзамену

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

лабораторные работы, тесты, контрольные работы, индивидуальные проекты (доклады).

#### Перечень лабораторных работ:

1. Реакторы в режимах идеального смешения и идеального вытеснения
2. Окисление диоксида серы (процессы и реакторы)
3. Получения гидроксида натрия каустификацией содового раствора
4. Кинетика реакций дегидратации в твердых фазах
5. Изучение работы реактора идеального смешения периодического действия
6. Кинетика омыления этилацетата в кислой и щелочной средах
7. Изучение кинетических закономерностей реакций этерификации и определение кислотного числа и числа омыления полученного эфира
8. Кинетические закономерности при получении Диана
9. Выделение хлористого калия из сильвинита
10. Синтез полиакриламида в растворе и исследование кинетики щелочного гидролиза мономера и полимера
11. Изучение фосфорных удобрений
12. Выделение пектина из сырья растительного происхождения

13. Определение сахара в корнеплодах и фруктах методом экстракции
14. Анализ нефтепродуктов
15. Анализ синтетических латексов
16. Определение серы в металлах и угле
17. Анализ аммиачной силитры, карбамида, кальцинированной соды
18. Изучение фосфорных удобрений
19. Выделение пектина из сырья растительного происхождения
20. Исследование режимов течения жидкости
21. Гидродинамическое сопротивление трубопровода
22. Изучение профиля скоростей в сечении трубопровода
23. Изучение работы центробежного насоса
24. Гидродинамическая структура потока в аппарате с мешалкой
25. Исследование режимов течения жидкости
26. Гидродинамическое сопротивление трубопровода
27. Теплопередача в двухтрубном теплообменнике
28. Изучение теплопередачи в четырёхходовом кожухотрубчатом теплообменнике
29. Теплопередача в кожухотрубчатом стеклянном теплообменнике
30. Интенсивность теплопередачи в пластинчатом теплообменнике
31. Время охлаждения жидкости при нестационарном теплообмене
32. Изучение массоотдачи в жидкой фазе
33. Определение коэффициента массоотдачи в газовой фазе
34. Разделение простой перегонкой бинарной смеси изопропанол–вода
35. Простая перегонка бинарной смеси вода–этиленгликоль
36. Изучение процесса периодической ректификации бинарной смеси жидкостей
37. Разделение растворов низкомолекулярных веществ обратным осмосом
38. Определение скорости свободного осаждения твёрдых частиц и всплытия пузырей в жидкостях
39. Гидродинамика неподвижного и псевдоожженного зернистого слоя
40. Изучение процесса фильтрования суспензий

Примеры вопросов задаваемых при защите лабораторных работ:

1. Как определить кинетическую и диффузионную области протекания гетерогенного химико-технологического процесса? Способы определения области протекания реакции.
2. Как математически описать скорость гетерогенного процесса? Пути увеличения скорости гетерогенного ХТП: увеличение коэффициента скорости, движущей силы, поверхности соприкосновения фаз.
3. Что такое экстаркция? Какие требования предъявляются к экстаргентам?
4. Для чего добавляют ацетат свинца? Напишите уравнение реакции.
5. Что такое показатель преломления? Какова погрешность измерения содержания сахара в исследуемом образце?
6. Псевдоожженный зернистый слой. Пределы существования псевдоожженного слоя.
7. Гидравлическое сопротивление зернистого слоя, порозность зернистого слоя. Перепад давления в зернистом слое с увеличением скорости газа.
8. Преимущества и недостатки рассмотренных теплообменных аппаратов.
9. Коэффициент теплопередачи: определение, единицы измерения, физический смысл. Влияние различных факторов и параметров теплообменных аппаратов величину коэффициента теплопередачи.
10. Коэффициент теплоотдачи.
11. Противоточная и прямоточная системы: сравнительный анализ.
12. В каком из реакторов — идеального вытеснения или идеального смешения — при одинаковом объеме реакторов и одинаковой нагрузке по реагентам степень превращения исходного компонента будет больше?
13. Что такое каскад реакторов идеального смешения? Где изотермический процесс протекает интенсивнее: в каскаде или единичном реакторе идеального смешения того же объема?

14. Дайте определение реактора идеального смешения и напишите его математическую модель.
15. Дайте определение реактора идеального вытеснения и напишите его математическую модель.
16. В чем различие математических моделей РИС-п и РИВ?
17. В каком из реакторов (ИС или ИС-н) процесс протекает наиболее интенсивно? Поясните это.
18. Сравните по производительности РИС и РИВ, имеющие равные объемы, при проведении простой необратимой реакции; простой обрати мой реакции.
19. В каких реакторах или реакторных системах (РИВ, РИС, РИВ-каскад и РИС-каскад) наблюдается наибольшая интенсивность процесса?

Примеры заданий входящих в комплект тестов:

- 1. На какой схеме оператор заменяется на конкретный аппарат, выполняемый в виде эскиза в масштабе 1 : 100 или 1 : 50**
  - a) технологической
  - b) операторной
  - c) графической
  - d) структурной
- 2. Отношение количества целевого продукта к общему количеству получаемых продуктов называется...**
  - a) степенью превращения
  - b) производительностью
  - c) интенсивностью
  - d) селективностью
- 3. Количество выработанного продукта или переработанного сырья в единицу времени называется...**
  - a) селективностью
  - b) степенью превращения
  - c) производительностью
  - d) интенсивностью
- 4. Производительность, отнесенная к какой-либо величине, характеризующей размеры аппарата (объему, сечению), называется...**
  - a) интенсивностью
  - b) скоростью реакции
  - c) селективностью
  - d) степенью превращения
- 5. Расход сырья, воды, энергии и различных реагентов, отнесенный к единице целевого продукта это – ...**
  - a) производительность
  - b) расходный коэффициент
  - c) селективность интенсивность
- 6. В реальных реакторах происходит перемешивание (в)...**
  - a) только в продольном направлении
  - b) продольном и радиальном направлениях
  - c) только в радиальном направлении
  - d) не происходит
- 7. В реакторе идеального смешения непрерывного действия вещества...**
  - a) периодически подаются, продукты периодически отводятся подаются по мере надобности
  - b) непрерывно подаются, продукты непрерывно отводятся
  - c) не подаются, пока не будут отведены все продукты реакции
- 8. В реакторе идеального вытеснения...**
  - a) каждый элемент объема движется по длине реактора, не смешиваясь с предыдущими и последующими элементами объема
  - b) каждый элемент объема движется по длине реактора, смешиваясь с предыдущими и последующими элементами объема
  - c) каждый элемент объема движется по ширине реактора, смешиваясь с предыдущими и последующими элементами объема
  - d) каждый элемент объема движется по ширине реактора, не смешиваясь с предыдущими и последующими элементами объема
- 9. Для осуществления периодического гомогенного процесса применяют...**

- a) реактор идеального смешения непрерывный (РИС-Н)
- b) аппараты без мешалок комбинации РИС-П и РИС-Н
- c) реактор идеального смешения периодический (РИС-П)

**10. Для непрерывных процессов применяют...**

- a) реакторы идеального вытеснения
- b) реактор идеального смешения периодический (РИС-П)
- c) реактор идеального смешения непрерывный (РИС-Н)
- d) комбинации РИС-П и РИС-Н

**11. Преимуществом реактора с КС является так же возможность подачи реагентов при температуре, ниже температуры...**

- a) кипения
- b) плавления
- c) замерзания
- d) зажигания катализатора

**12. Если отсутствует теплообмен с окружающей средой и тепло химической реакции расходуется на изменение температуры реакционной среды, то такой процесс называется...**

- a) адиабатическим
- b) политропическим
- c) изотермическим
- d) изобарическим

**13. Если температура в реакторе постоянна в результате подвода или отвода тепла, то такой процесс называется...**

- a) изотермическим
- b) адиабатическим
- c) политропическим
- d) изобарическим

**14. Установите соответствие**

1. Процессы, скорость протекания которых определяется законами механики и гидродинамики, например, процессы перемещения жидкостей и газов по трубопроводам и аппаратам, перемешивание в жидких средах, разделение суспензий и эмульсий путем отстаивания, фильтрования, центрифугирования, псевдоожижения зернистого материала	A) Теплообменные процессы
2. Эти процессы связаны с переносом теплоты от более нагретых тел (или сред) к менее нагретым, например, процессы нагревания, охлаждения, конденсации, выпаривания.	Б) Гидромеханические процессы
3. Эти процессы связаны с переносом вещества в различных агрегатных состояниях из одной фазы в другую, например, процессы абсорбции и десорбции, перегонки и ректификации, экстракции, адсорбции, растворения, кристаллизации, увлажнения, сушки, сублимации, ионного обмена	В) Массообменные процессы
4. Процессы механического взаимодействия тел, например, процессы измельчения, классификации сыпучих материалов, прессования и др.	Г) Механические процессы

**15. Полную энергию системы ( $E'$ ), приходящуюся на единицу массы, можно представить как**

$$E' = U' + E'_k + E'_p, \text{ Дж/кг.}$$

Здесь  $U'$  - ...;  $E'_k$  - ...;  $E'_p$  - ... Вставьте пропущенные слова.

**16. Верно ли следующее утверждение?**

Турбулентный перенос энергии задается следующим уравнением:

$${}^m \vec{q} = -\lambda \vec{\nabla} T, \text{ где } \lambda \text{ -- коэффициент молекулярной теплопроводности.}$$

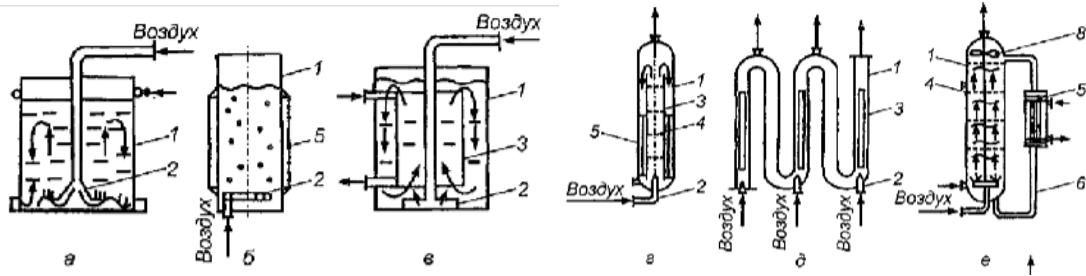
**17. «А» – избирательное поглощение компонентов паровых или газовых смесей жидким поглотителем. При этом осуществляется переход одного или нескольких компонентов смеси из газовой фазы в жидкую. Обратный процесс перехода отдельных компонентов жидкой смеси в газовую fazu называется «Б».**

- 1. А – абсорбция, Б - десорбция;
- 2. А – перегонка, Б – дистилляция;
- 3. А - экстракция; Б - возгонка
- 4. А – адсорбция, б - экстрагирование

**18. Задание открытого типа. Вставьте пропущенное слово.**

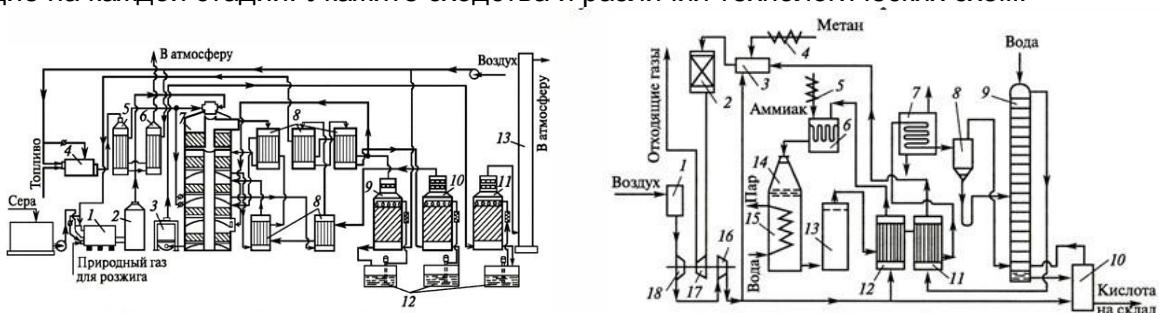
Движущей силой процесса ... является стремление системы к уменьшению поверхностного напряжения.

19. На рис. приведены различные схемы биореакторов. Ферментер барботажно-газлифтный показан под буквой «\_\_». Поясните принцип его работы. Назовите пронумерованные элементы аппарата.

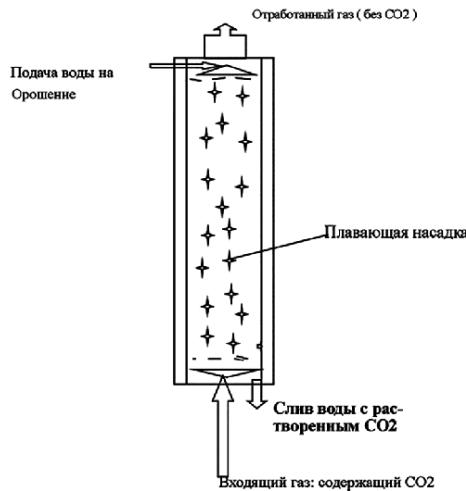


Примеры контрольных работ (заданий входящих в структуру КИМ):

- При температуре 773 К константа скорости окисления оксида серы (IV) в оксид серы (VI) составляет  $k_1 = 3,20 \cdot 10^5$ . Определите константу скорости  $k_2$  этой реакции при температуре 793 К. Энергия активации реакции составляет 87900 кДж/моль.
  - Этиловый спирт образуется при взаимодействии этилена с водой. Рассчитайте выход этилового спирта Фэт при условии многократной циркуляции этилена, если практический расходный коэффициент этилена  $\beta = 0,69$  т/т этилового спирта.
  - Энергия активации реакции  $2A + B = 2C$ , протекающей при температуре 1073 К составляет 89700 кДж/кмоль. В результате применения катализатора она снизилась до 59000 кДж/кмоль. Другие параметры остались неизменными. При какой температуре реакция с участием катализатора может протекать с прежней скоростью?
  - Перед осуществлением реакции  $A \rightarrow B$ , была измерена концентрация вещества A, она составила 1 моль/л, после проведения реакции – 0,1 моль/л. Степень конверсии вещества составила...



6. На химическом заводе, производящем синтетические полимеры, в атмосферу выбрасываются различные загрязняющие вещества, включая оксиды азота и серы. В результате мониторинга было установлено, что уровень загрязнения вблизи завода превышает допустимые нормы. Какие меры могут быть предприняты для снижения выбросов загрязняющих веществ на данном заводе? Каковы потенциальные экологические последствия для окружающей среды и здоровья населения в случае продолжения работы завода без улучшения экологической ситуации?
  7. Биохимическое предприятие занимается производством биоразлагаемых пластиков из растительного сырья. В процессе производства образуются побочные продукты, которые в настоящее время утилизируются как отходы. Как можно переработать побочные продукты для создания новых продуктов или ресурсов, чтобы минимизировать количество отходов? Какие экологические преимущества может предоставить переход на безотходные технологии в данном производстве, как для предприятия, так и для окружающей среды?
  8. На рисунке показана абсорбционная колонна для очистки биогаза от CO<sub>2</sub>.



Поясните принцип ее работы.

Что такое биогаз? Его состав? Как он получается. Приведите основные необходимые реакции

9. Определите объем биореактора с пневматическим перемешиванием для получения 57 т/сут 10 %-го мас. водного раствора хлорида натрия при 25°С. Производственный цикл включает загрузку воды в реактор в течение 20 мин., растворение хлорида натрия, выгрузку раствора в течение 10 мин. Средний размер частиц твердого хлорида натрия 2,2 мм, скорость массопереноса —  $2 \cdot 10^{-6}$  м/с, разница концентраций при массопереносе — 430 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент заполнения реактора — 0,75, начальная плотность реакционной смеси — 1070 кг/м<sup>3</sup>.

10. Определите диаметр и высоту слоя адсорбента в адсорбере периодического действия для улавливания паров воды из воздуха на цеолите. Число единиц переноса равно 4,5, расход парогазовой смеси 1500 кг/ч, скорость парогазовой смеси — 0,23 м/с, плотность — 0,82 кг/м<sup>3</sup>, объемный коэффициент массопереноса — 1,5 с<sup>-1</sup>.

11. В аппарате требуется охладить жидкость от температуры 85° С до температуры 45° С. Массовый расход жидкости 500 кг/ч, теплоемкость жидкости с. Начальная температура охлаждающей воды 18° С, удельная теплоёмкость воды 4186 Дж/(кг·К). Коэффициент теплопередачи K = 270. Определите необходимую поверхность теплообмена и расход воды при прямотоке и противотоке. Опишите схемы движения теплоносителей и определение среднего температурного напора.

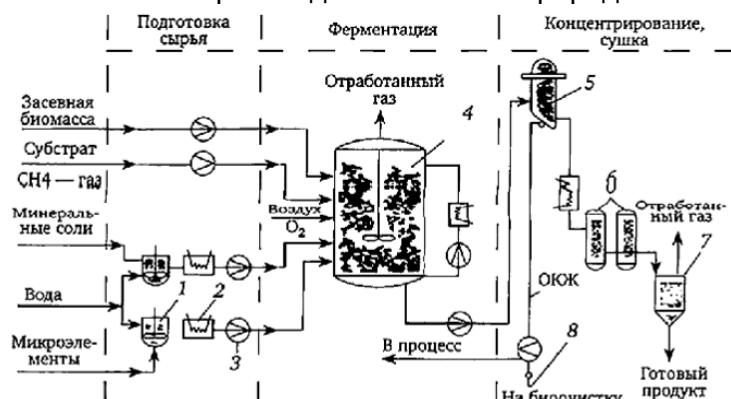
12. В кожухотрубчатом конденсаторе необходимо сконденсировать пары этилового спирта. Массовый расход 200 кг/ч, давление 101,3 кПа, концентрация 96,5 % мас. Спирт выходит при температуре конденсации 78,3° С. Охлаждающим агентом служит вода с начальной температурой 18° С, конечная температура теплоносителя 45° С. Коэффициент теплопередачи K = 610. Удельная теплота конденсации паров этилового спирта при заданных условиях равна 921,1 кДж/кг. Имеется теплообменник с площадью поверхности теплообмена 3 м<sup>2</sup>. Подходит ли такой теплообменник для реализации процесса? Что такое кожухотрубчатый конденсатор? Каков принцип его работы?

13. Рассчитайте диаметр аппарата (однокамерной сушилки с кипящим слоем) и расход воздуха при следующих исходных данных: производительность по исходному материалу — 850 кг/ч; начальное влагосодержание продукта — 0,10 кг/кг; конечное влагосодержание продукта — 0,05 кг/кг; начальные параметры воздуха: температура — 23° С, влажность — 72%; конечная температура воздуха в калорифере — 130° С; конечная температура воздуха в сушилке — 65° С; скорость подачи воздуха в сушилку 0,72 м/с.

14. По трубопроводу диаметром 0,25 м движется поток воды с расходом 90 м<sup>3</sup>/ч. Температура воды 25° С, динамическая вязкость  $1 \cdot 10^{-3}$  Па·с, плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>. Установите режим течения в трубе. Опишите критерий Рейнольдса и возможность его использования в процессе моделирования.

15. Рассмотрите производство белково-витаминного концентрата из парафиновой фракции нефти. Приведите физико-химические основы процесса. Предложите и опишите принцип работы технологической схемы и основных ее аппаратов. Какие варианты интенсификации процессов вы применяете в этом производстве?

16. На рис. показана типовая схема производства белка из природного газа.

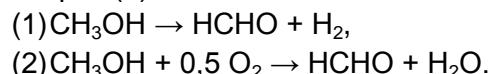


Поясните принцип ее работы. Назовите пронумерованные аппараты. Предложите варианты интенсификации работы данного производства.

17. Составить материальный баланс производства винилхлорида галогенированием ацетилена. Исходные данные:

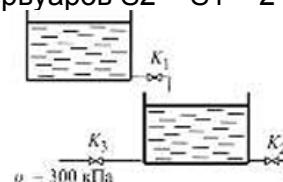
степень превращения ацетилена – 99 %;  
селективность процесса – 98 %;  
чистота исходного хлорида водорода – 99 мас.д., %;  
чистота исходного ацетилена – 99,5 мас.д., %;  
избыток хлорида водорода – 10 %;  
 побочный продукт – дихлорэтан. Расчет провести на 1 т винилхлорида.

18. Вычислить расход метилового спирта на 1 т формальдегида, если производительность установки 2000 кг/ч формалина с массовой долей 37 %. Выход формальдегида составляет 90 мас.д., %, при степени превращения 85%. При кислотном дегидрировании метилового спирта протекают одновременно две реакции: дегидрирование (1) и окисление метилового спирта (2):



19. В аппарат поступают 2 входных потока, для которых заданы объемные расходы  $V_1$  и  $V_2$  (в м<sup>3</sup>/ч), и 2 выходных с объемными расходами  $V_3$  и  $V_4$ . Плотности всех потоков известны, обозначим их как  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_4$  соответственно. Запишите уравнения материального баланса.

20. Постройте математическую модель гидравлической системы. Определите изменение уровня жидкости (бензол – толуол) в емкостях на интервале [0, 60]. В начальный момент времени уровень жидкости в сосудах  $H_1 = 10$ ,  $H_2 = 8$  м. Концентрация бензола-50 %.  $\zeta_1 = \zeta_3 = \zeta_2 = \zeta_1$ . Диаметр патрубков 0,021 м. Сечение резервуаров  $S_2 = S_1 = 2 \text{ м}^2$ . Температура жидкости – 25 °C.



#### Темы индивидуальных проектов (докладов)

1. Производство серной кислоты.
2. Технология минеральных удобрений.
3. Технология производства аммиака.

4. Технология азотной кислоты
5. Первичная переработка нефти.
6. Деструктивная переработка нефти.
7. Синтезы на основе СО и Н<sub>2</sub>.
8. Технология получения формальдегида
9. Технология получения ацетилена
10. Технология получения уксусной кислоты
11. Коксохимическое производство.
12. Производство чугуна.
13. Производство стали. Мидрекс-процесс.
14. Меласса. Производство этилового спирта.
15. Биотехнологические процессы. Получение лизина.
16. Производство синтетических каучуков.
17. Технология получения резиновых изделий.
18. Производство портландцемента.
19. Системы водоподготовки и водоочистки.
20. Системы очистки воздуха.

#### Описание технологии проведения

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Она включает в себя несколько форм контроля, направленных на комплексную оценку знаний и навыков студентов.

Аттестация включает устный опрос, который может проводиться как в форме индивидуального опроса, так и фронтальной беседы. Письменные работы представлены контрольными работами и тестами. Контрольные работы позволяют проверить знания и умение студентов применять теоретические концепции на практике. Тестирование используется для быстрой оценки уровня знаний по определенным темам.

Контрольные работы и тесты могут проводиться как в электронной форме, так и на занятиях. Время выполнения этих заданий устанавливается преподавателем. Результаты текущей аттестации могут быть учтены при проведении промежуточной аттестации.

Лабораторные работы направлены на развитие практических навыков в области химии и технологии БАВ, включая выполнение эксперимента по заданной методике, сбор и анализ данных, а также формирование умений безопасной работы с химическими реагентами и оборудованием.

Технология проведения текущей аттестации включает использование электронных ресурсов для организации и контроля процесса, что позволяет автоматизировать оценку и хранение результатов. Мониторинг успеваемости осуществляется через электронный журнал оценок, что позволяет преподавателям и студентам отслеживать прогресс в режиме реального времени.

#### Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценка результатов обучения на текущей аттестации происходит по следующим показателям:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом химической технологии и промышленной экологии;
- 2) умение связывать теорию с практикой на основе экспериментальных результатов, полученных при выполнении лабораторных работ;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, уравнениями реакций, экспериментальными данными;

#### Критерии оценивания:

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
<p><i>Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям.</i>  <i>Продемонстрировано знание физико-химических особенностей основного технологического оборудования и химико-технологических процессов; возможностей и способов оптимизации тепловых и массообменных процессов; умение проводить расчёт параметров технологического процесса на основе данных о составе реакционной среды; оценки параметров и характеристик химических процессов; проектирования элементов технологических систем и технологи-</i></p>	Отлично

ческих процессов ; описания отдельных технологических систем и технологических процессов	
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано знание физико-химических особенностей основного технологического оборудования и химикотехнологических процессов; возможностей и способов оптимизации тепловых и массообменных процессов</i>	Хорошо
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум (трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания физико-химические особенности основное технологическое оборудование и химико-технологических процессов; возможности и способы оптимизации тепловых и массообменных процессов, или имеет не полное представление о лабораторных работах в химической технологии, допускает существенные ошибки при описании процессов написании уравнений реакции.</i>	Удовлетворительно
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем (четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания основного технологического оборудования, химикотехнологических процессов; допускает грубые ошибки при написании процессов и уравнений реакций.</i>	Неудовлетворительно

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

собеседование по КИМ содержащих вопросы для зачета с оценкой или экзамена

Перечень вопросов, выносимых на зачет с оценкой:

1. Дайте определение «химическая технология» и опишите её межотраслевой характер.
2. Назовите и охарактеризуйте основные объекты и подсистемы химико-технологической системы (ХТС).
3. Что такое системный анализ сложных схем химических производств и из каких этапов он состоит?
4. В чем состоит отличие физического моделирования от математического? Приведите примеры их применения.
5. Объясните роль натурного и вычислительного экспериментов в инженерно-химических исследованиях.
6. Дайте определение химического производства и опишите его многофункциональность.
7. Назовите основные технологические компоненты химического производства и приведите примеры.
8. Перечислите качественные и количественные показатели химического производства и объясните их значение.
9. Как классифицируются сырьевые ресурсы по фазовому состоянию и происхождению?
10. Охарактеризуйте основные способы первичной обработки минерального и органического сырья.
11. Что понимается под углубленным использованием сырья и комбинированными производствами?
12. Опишите основные требования к технологической и бытовой воде в химическом производстве.
13. Приведите методы промышленной очистки воды и основные способы контроля её качества.
14. Раскройте понятие регенерации и рекуперации энергии в химической промышленности.
15. Что такое стехиометрические, термодинамические и кинетические закономерности химических превращений?
16. Дайте определения степени превращения, выхода продукта и селективности химического процесса.
17. Как соотносятся скорость реакции и скорость превращения реагентов?

18. Объясните классификацию химических процессов по химическим и фазовым признакам.
19. Какие факторы влияют на показатели гомогенного химического процесса и как его можно интенсифицировать?
20. Что такая оптимальная температура и как её определяют для экзо- и эндотермических реакций?
21. Дайте определение и приведите примеры гетерогенного некатализитического процесса.
22. Назовите стадии гетерогенного процесса и объясните понятие наблюдаемой скорости превращения.
23. Опишите математическую модель процесса горения по модели «сжимающаяся сфера».
24. Что характеризует модель «с невзаимодействующим ядром» в топохимических реакциях?
25. Назовите пути интенсификации гетерогенного процесса «газ–жидкость».
26. Дайте определение каталитическому процессу и классифицируйте виды гетерогенного катализа.
27. Объясните построение математической модели каталитического процесса на пористом зерне катализатора.
28. Что такое степень использования внутренней поверхности катализатора и как её увеличить?
29. Дайте определение химического реактора и перечислите его основные конструктивные элементы.
30. Сравните модели идеального смешения и идеального вытеснения для изотермических реакторов.
31. Как составляется система уравнений материального и теплового баланса для реактора?
32. Какие параметры влияют на профили концентраций и показатели процесса в изотермическом реакторе?
33. Опишите распределение температуры и степени превращения в адиабатическом реакторе.
34. Что такое число и устойчивость стационарных режимов в реакторе идеального смешения?
35. Приведите примеры промышленных реакторов для гомогенных, гетерогенных и каталитических процессов.
36. Раскройте понятие и задачи анализа химико-технологической системы.
37. Как составляется материальный баланс ХТС со схемой рециркуляции? Приведите алгоритм расчёта.
38. Объясните принципы энергетического баланса по полной энергии и расчёта КПД производства.
39. Перечислите основные этапы синтеза ХТС и роль математических и эвристических методов.
40. Какие концепции «зелёной» химии и промышленной экологии применяются при проектировании малоотходных производств?
41. Назовите и охарактеризуйте экономические, эксплуатационные и социальные показатели оценки эффективности химического производства.
42. Что понимается под энерготехнологической системой (ЭТС) в химическом производстве? Перечислите её основные компоненты.
43. Какие виды вторичных энергетических ресурсов применяются в химической промышленности и какова их роль в снижении энергозатрат?
44. Раскройте классификацию технологических связей в химико-технологической системе: последовательная, параллельная, разветвлённая, последовательно-обводная (байпас) и обратная (рецикл).
45. В чём отличие описательных (химическая схема, математическая модель) и графических (функциональная, технологическая, структурная) моделей ХТС? Приведите примеры применения.
46. Какие ключевые системные свойства присущи ХТС как сложной системе? Объясните понятия «взаимосвязанность режимов», «устойчивость» и «существование стационарных режимов».
47. Опишите порядок составления теплового баланса ХТС при наличии рециклов: учёт теплового потока, способ представления результата.
48. В чём состоит синтез замкнутой малоотходной технологической схемы с полным использованием сырьевых и энергетических ресурсов?

49. Перечислите и охарактеризуйте основные этапы разработки (синтеза) химико-технологической системы.
50. Что такое кластеризация химической промышленности и какие преимущества она даёт при развитии региона?
51. Назовите современные тенденции и приоритетные направления развития мировой химической промышленности.
52. Какие перспективные нетрадиционные источники сырья и энергии рассматриваются для химической отрасли?
53. Раскройте физико-химические основы построения технологической схемы производства этилена (или аммиака): выбор реагентов, энерго- и ресурсосберегающих приёмов.
54. Охарактеризуйте принципы «зелёной» химии и основные требования норм и нормативных документов промышленной экологии.
55. Приведите примеры гибких и перестраиваемых технологических схем и объясните их практическую важность.

*Пример билета (КИМ)::*

	УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой _____ _____._____.20____	
<p>Направление подготовки <u>04.05.01. Фундаментальная и прикладная химия</u>  <u>Дисциплина Химическая технология</u>          Курс 3          Форма обучения <u>очная</u>          Вид аттестации <u>промежуточная</u>          Вид контроля <u>зачет с оценкой</u></p>	
<b>Контрольно-измерительный материал № 1</b>	
1. Раскройте классификацию технологических связей в химико-технологической системе: последовательная, параллельная, разветвлённая, последовательно-обводная (байпас) и обратная (рецикл). 2. Охарактеризуйте основные способы первичной обработки минерального и органического сырья. Преподаватель _____	

*Перечень вопросов, выносимых на экзамен:*

1. Дайте классификацию химико-технологических процессов по способу протекания (непрерывные/периодические) и по стационарности (стационарные/нестационарные).
2. Раскройте понятие идеальной (независимой от вязкости) жидкости. Какие силы действуют в идеальной жидкости?
3. Что такое модель непрерывной среды и физический элементарный объем?
4. Запишите дифференциальную и интегральную форму уравнения неразрывности для жидкости.
5. Выпишите баланс сил для вязкой несжимаемой жидкости и поясните каждое слагаемое.
6. Получите уравнение Навье–Стокса и объясните физический смысл каждого члена уравнения.
7. Сформулируйте уравнение движения идеальной жидкости (Эйлера) и уравнения равновесия Эйлера.
8. Выведите основное уравнение гидростатики и назовите его практические применения.
9. Запишите энергетический баланс стационарного движения идеальной жидкости.
10. Выведите уравнение Бернулли для идеальной жидкости и укажите, как оно модифицируется для реальной жидкости.
11. Приведите примеры практического применения уравнения Бернулли (истечение через сопло, трубка Пито–Прандтля).
12. Как измеряют скорость и расход жидкости с помощью дроссельных приборов и пневтометрических трубок?
13. Опишите метод определения расхода жидкости через отверстие или насадку.
14. Дайте определения гидравлического радиуса и эквивалентного диаметра.
15. В чем состоит отличие ламинарного и турбулентного режимов течения жидкости?
16. Опишите опыты Рейнольдса и определите критическое число Рейнольдса для трубы.
17. Что такое пограничный слой при течении жидкости по трубам и обтекании тел?

18. Выведите профиль скоростей при ламинарном стационарном течении в трубе и уравнение Пуазеля.
19. Изобразите эпюры скорости для ламинарного и турбулентного течения в трубе.
20. Запишите уравнение Дарси–Вейсбаха для потерь напора на трение и методы учета местных сопротивлений.
21. Как рассчитывают напор и диаметр трубопровода для заданного расхода?
22. Какие критерии гидродинамического подобия используют (Эйлера, Рейнольдса, Фруда и др.) и какой у них физический смысл?
23. Покажите, как приводится уравнение Навье–Стокса к критериальному виду через безразмеризацию.
24. Перечислите основные параметры работы центробежного насоса: производительность, напор, мощность, КПД.
25. Как определяется допустимая высота всасывания и что такое кавитация? Как её избежать?
26. Охарактеризуйте рабочие характеристики центробежного и плунжерного насосов в гидравлической сети.
27. Дайте классификацию насосов на объёмные и динамические, приведите примеры каждой группы.
28. Расчитайте производительность поршневого насоса простого и двойного действия.
29. Сравните достоинства и недостатки поршневого, плунжерного, диафрагмового и шестеренного насосов.
30. Запишите уравнение теплового баланса без изменения агрегатного состояния и при изменении агрегатного состояния.
31. Сформулируйте закон Фурье для теплопроводности.
32. Раскройте понятие потенциала теплового потока и запишите уравнение Фурье–Кирхгофа.
33. Какие безразмерные критерии используют в теплообмене и что они показывают?
34. Выведите формулу теплопроводности через плоскую и через цилиндрическую стенку.
35. Как учитывают теплопередачу излучением? Перечислите основные формулы.
36. Расчитайте толщину тепловой изоляции для цилиндрической трубы.
37. Перечислите виды поверхностных теплообменников и их основные конструкции.
38. Объясните принцип аддитивности термических сопротивлений в теплообменнике.
39. Как определяют коэффициенты теплоотдачи для случаев без фазового перехода и с испарением?
40. Расчитайте среднюю движущую силу теплопередачи для противоточных и прямоточных схем.
41. Перечислите промышленные теплоносители для нагрева и охлаждения, их свойства и области применения.
42. Охарактеризуйте нагрев электрическим током и его преимущества.
43. Дайте определение массообмена. Как выражают состав фаз и направления переноса вещества?
44. Составьте материальный баланс непрерывного массообменного аппарата и уравнения рабочих линий.
45. Запишите основное уравнение массопереноса и поясните механизмы переноса.
46. Что такое диффузионный пограничный слой? Нарисуйте профили концентраций и скоростей.
47. Как применяют аддитивность диффузионных сопротивлений в расчёте движущей силы?
48. Сформулируйте дифференциальное уравнение конвективного массопереноса и уравнение неразрывности для бинарной системы.
49. Как строится критериальное уравнение конвективного массопереноса?
50. Метод “от ступени к ступени” при расчёте ступенчатых массообменных аппаратов: алгоритм и пример.
51. Дайте определения абсорбции, степени извлечения, минимального и оптимального расходов поглотителя.
52. Как классифицируются абсорбционные процессы и конструкции абсорберов?
53. Раскройте зависимость равновесия в системе пар–жидкость и приведите пример перегонки.

54. Сформулируйте материа- и тепловой баланс ректификационной колонны. Что такое минимальное и действительное флегмовое число?
55. Расчитайте диаметр и высоту ректификационной колонны для заданного состава и расхода.
56. Приведите схемы установок для непрерывной, периодической, экстрактивной и азеотропной ректификации.
57. Опишите основные понятия процесса осаждения в отстойниках и конструкции декантеров.
58. Раскройте физико-химические зависимости в неподвижных и псевдоожиженных слоях; конструкции аппаратов.
59. Перечислите основные закономерности фильтрования, приведите уравнение Дарси для фильтрации.
60. Охарактеризуйте конструкции фильтров тонкой и грубой очистки, их достоинства и недостатки.
61. Как классифицируются процессы и аппараты по масштабам протекания и иерархии математической модели?
62. В чем суть системного анализа химико-технологических схем и какие методы при этом применяются?
63. Объясните назначение описательных и графических моделей химико-технологических систем.
64. Какие типы технологических связей (последовательная, параллельная, байпас, рецикл) встречаются в ХТС?
65. Раскройте понятие устойчивости стационарного режима ХТС и его связь с оптимальностью элементов.
66. Опишите методику составления материальных и тепловых балансов схем с рециклом.
67. Как рассчитывают степень использования сырья по стехиометрическим и термодинамическим соотношениям?
68. Дайте понятие энерготехнологической системы и приведите пример её применения.
69. Объясните концепции полного использования сырья и минимизации отходов при синтезе ХТС.
70. Раскройте идею комбинированных производств и вторичных энергетических ресурсов.
71. Какие принципы лежат в основе построения "зеленой" малоотходной технологической схемы?
72. Что такое кластеризация химической промышленности и какие она дает преимущества?
73. Назовите ключевые мировые тенденции развития химической отрасли и перспективные источники сырья.
74. Какие требования к нормам промышленной экологии и методы её обеспечения существуют?
75. Охарактеризуйте гибкие и перестраиваемые технологические схемы: назначение и примеры.
76. Какие математические и эвристические методы применяют при синтезе ХТС?
77. Приведите пример физико-химических основ построения схемы получения этилена (или амиака).
78. В чем заключается роль вычислительного эксперимента при разработке технологических схем?
79. Как взаимодействуют процессы тепло- и массообмена в комплексных аппаратах (например, колоннах с тарелками)?
80. Оцените экономические и эколого-социальные показатели эффективности химико-технологических систем.
81. Какие типы промышленных реакторов применяют для гомогенных процессов и какие факторы влияют на их выбор?
82. В чём особенности расчёта проточного реактора с идеальным смешением для необратимой реакции первого порядка?
83. Опишите модель трубчатого реактора как идеального вытеснения и метод подбора его длины для заданной степени превращения.
84. Как учесть тепловой эффект реакции при расчёте адиабатического трубчатого реактора и определить температуру на выходе?
85. Когда применяют серию реакторов идеального смешения и как оценивают их эффективность по сравнению с одним реактором вытеснения?
86. Дайте классификацию гетерогенных промышленных катализаторов по активному компоненту и типу носителя.

87. Опишите основные стадии каталитического цикла на металлической поверхности (адсорбция, реакция, десорбция).
88. Какие методы физико-химической характеристики катализаторов используют на практике и что они показывают?
89. В чём состоит роль внутриворового диффузионного сопротивления (эффект Михельсона) и как его учитывать в математической модели катализатора?
90. Назовите основные механизмы деактивации промышленных катализаторов и методы их регенерации.
91. Используя уравнение Вант-Гоффа, объясните, как изменение температуры влияет на равновесие экзотермической реакции.
92. Как по данным стандартных теплот образование рассчитать тепловой эффект реакции при заданных условиях?
93. Опишите методику определения энергии активации по зависимости скорости реакции от температуры (построение Аррениусова графика).
94. Дайте определения порядка реакции и молекулярности и приведите примеры реакций нулевого, первого и второго порядков.
95. Что такое псевдопервый порядок в гомогенной кинетике, как выстроить модель и вычислить константу скорости?
96. Опишите промышленные процессы получения серной кислоты (контактный метод): тип реактора, катализатор, основные режимные параметры.
97. Каковы термодинамические и кинетические ограничения процесса Хабера–Боша при промышленном синтезе аммиака?
98. Перечислите основные методы электролитического получения хлора и каустической соды и охарактеризуйте конструкции электролизёров.
99. Опишите технологическую схему получения этилена пиролизом: типы реакторов, способы рекуперации тепла, очистка продуктов.
100. Раскройте принципы промышленного синтеза метанола из синтез-газа: условия давления и температуры, катализатор, основные балансы.

*Пример билета (КИМ)::*

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ .20

Направление подготовки 04.05.01. Фундаментальная и прикладная химия

Дисциплина Химическая технология

Курс 4

Форма обучения очная

Вид аттестации промежуточная

Вид контроля экзамен

**Контрольно-измерительный материал № 1**

- Сравните достоинства и недостатки поршневого, плунжерного, диафрагмового и шестеренного насосов.
- В чём состоит роль внутриворового диффузионного сопротивления (эффект Михельсона) и как его учитывать в математической модели катализатора?

Преподаватель \_\_\_\_\_

**Описание технологии проведения**

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования Воронежского государственного университета. Промежуточная аттестация студентов является основной формой контроля аудиторной работы студентов и проводится с целью установления уровня и качества подготовки студентов ФГОС 3++ и определяет:

- полноту и прочность теоретических знаний;
- сформированность умений применять теоретические знания при решении практических и профессиональных задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций.

Подготовка к промежуточной аттестации является формой самостоятельной работы студентов. При этом обучающийся должен использовать рекомендованный рабочей программой перечень основной и дополнительной литературы, материалы лекций, информационные и электронно-образовательные ресурсы. Для подготовки к промежуточной аттестации студент также может использовать перечень вопросов, вынесенных на зачет с оценкой и экзамен, позволяющий оценить уровень сформированности профессиональных компетенций по дисциплине «Химическая технология».

Промежуточная аттестация проводится в устной или письменной форме. Преподаватель, ответственный за её проведение, вправе задавать студентам дополнительные вопросы по любым разделам учебной дисциплины; все вопросы и ответы фиксируются в листе ответов студента. Время зачета с оценкой и экзамена регламентируется действующими нормативными документами. Результат промежуточной аттестации заносится преподавателем в лист ответов обучающегося (после чего студент расписывается, подтверждая своё согласие с выставленной оценкой), а также в зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка результатов обучения на промежуточной аттестации происходит по следующим показателям:

4) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом химической технологии и промышленной экологии;

5) умение связывать теорию с практикой на основе экспериментальных результатов, полученных при выполнении лабораторных работ;

6) умение иллюстрировать ответ примерами, уравнениями реакций, экспериментальными данными;

По результатам всех выполненных заданий текущего контроля студентам может быть выставлен зачет с оценкой или экзамен автоматом:

средняя оценка 3-3,75 – «удовлетворительно»,

3,75-4,5 – «хорошо»,

4,5-5 – «отлично».

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Полный, исчерпывающий ответ, демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к выбору материала при подготовке к промежуточной аттестации.	Отлично
Ответ стандартный, в целом качественный, основан на использовании основных источников информации. Присутствуют незначительные пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Хорошо
Ответ неполный, основан исключительно на использовании лекционных материалов. При понимании сущности предмета в целом имеются существенные пробелы в знаниях.	Удовлетворительно
Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Присутствуют многочисленные грубые ошибки.	Неудовлетворительно

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень, может быть, конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### **20.3 Задания, рекомендованные к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины:**

**ОПК-1.** Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности

**ОПК-1.1.** Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результатов расчетов свойств веществ и материалов

**ОПК-1.2.** Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

**ОПК-1.3.** Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

#### **ЗАДАНИЕ 1. Соотнесите стадии химического производства с их основными функциями.**

1. Синтез
2. Очистка
3. Упаковка

**Ответы:**

- A. Получение конечного продукта
- B. Удаление примесей
- C. Подготовка продукта к транспортировке

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

#### **ЗАДАНИЕ 2. Установите соответствие между типами химических реакций и их характеристиками.**

1. Экзотермическая реакция
2. Эндотермическая реакция
3. Каталитическая реакция

**Ответы:**

- A. Поглощение тепла
- B. Выделение тепла
- C. Ускорение реакции без изменения катализатора

**ОТВЕТ:** 1-В, 2-А, 3-С

#### **ЗАДАНИЕ 3. Соотнесите типы реакторов с их преимуществами.**

1. Непрерывный реактор
2. Пакетный (партионный) реактор
3. Псевдоожженный слой

**Ответы:**

- A. Высокая степень контроля над реакцией
- B. Гибкость в изменении параметров
- C. Эффективная передача тепла и массы

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 4.** Расположите стадии химической реакции в реакторе в правильной последовательности.

- Вход реагентов
- Протекание реакции
- Выход продуктов

**ОТВЕТ:** Вход реагентов, Протекание реакции, Выход продуктов

**ЗАДАНИЕ 5.** Соотнесите химические процессы с их применением в промышленности.

1. Гидратация
2. Пиролиз
3. Полимеризация

**Ответы:**

- A. Производство этилена
- B. Производство полиэтилена
- C. Производство спиртов

**ОТВЕТ:** 1-С, 2-А, 3-В

**ЗАДАНИЕ 6.** Соотнесите виды сырья с их основным применением в химической промышленности.

1. Нефть
2. Природный газ
3. Уголь

**Ответы:**

- A. Производство синтез-газа
- B. Производство пластиков
- C. Производство топлива

**ОТВЕТ:** 1-В, 2-А, 3-С

**ЗАДАНИЕ 7.** Установите соответствие между типами реакторов и их применением.

1. Трубчатый реактор
2. Реактор с перемешиванием
3. Реактор с псевдоожиженным слоем

**Ответы:**

- A. Каталитические процессы
- B. Гомогенные реакции
- C. Гетерогенные реакции

**ОТВЕТ:** 1-С, 2-В, 3-А

**ЗАДАНИЕ 8.** Соотнесите параметры, влияющие на скорость реакции, с их эффектами.

1. Температура
2. Концентрация реагентов
3. Катализатор

**Ответы:**

- A. Увеличение скорости реакции
- B. Увеличение вероятности столкновений
- C. Снижение активационной энергии

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1.** Рассчитайте коэффициент разделения, если известно, что вещество экстрагируется из одного растворителя в другой с концентрацией 0.2 моль/л и 0.05 моль/л соответственно.

**ОТВЕТ:** 4

**ЗАДАНИЕ 2.** Вычислите давление газа в баллоне объемом 10 литров, содержащем 2 моля газа при температуре 298 К. Используйте уравнение состояния идеального газа:  $PV = nRT$ , где  $R = 0.0821 \text{ л}^*\text{атм}/(\text{моль}^*\text{К})$ .

**ОТВЕТ:** 4.88 атм

**ЗАДАНИЕ 3.** Объем среды  $V = 200 \text{ л}$  с плотностью  $\rho_c = 1100 \text{ кг}/\text{м}^3$  перемешивают мешалкой диаметром  $d_m = 250 \text{ мм}$ . Число оборотов мешалки  $n = 300 \text{ об}/\text{мин}$ , а критерий мощности мешалки (модифицированный критерий Эйлера)  $K_N = 10$ . Определить интенсивность перемешивания и мощность, потребляемую при перемешивании.

**ОТВЕТ:** 1340 Вт,  $6700 \text{ Вт}/\text{м}^3$

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1:** . В жидкофазном химическом процессе получают вещество В:



Потери веществ А и С составляют:  $\Pi_A = 1,5\%$ ;  $\Pi_C = 3\%$ . Содержание основных компонентов в технических веществах (чистота): А – 59%; С – 35%; В – 95%. Плотности веществ А и С:  $\rho_A = 1,794 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_C = 1,7 \text{ кг}/\text{м}^3$ .  $M(A)=30 \text{ г}/\text{моль}$ ;  $M(C)=80 \text{ г}/\text{моль}$ ;  $M(B)=100 \text{ г}/\text{моль}$ . Цена исходных реагентов: ЦА = 10 руб./м<sup>3</sup>; ЦС = 20 руб./м<sup>3</sup>. Рассчитать расходные коэффициенты для веществ А и С на получение 1 тонны вещества В, выраженные в [т/т] и [м<sup>3</sup>/т] и затраты для получения 1 тонны В.

**РЕШЕНИЕ:**

1. Теоретический расходный коэффициент А с учетом чистоты веществ:

$$\gamma_A^T = \frac{M(A) * v_A * C_B}{M(B) * v_B * C_A} = \frac{30 * 1 * 0,95}{100 * 1 * 0,59} = 0,483 \text{ т}/\text{т}$$

2. Т.к. конверсия и селективность процесса по веществу А равны единице, то переходим сразу к расчету расходного коэффициента А с учетом потерь:

$$\gamma_A^{\text{факт}} = \gamma_A^T * \left(1 + \frac{\Pi_A}{100}\right) = 0,483 * \left(1 + \frac{1,5}{100}\right) = 0,49 \text{ т}/\text{т}$$

3. Рассчитаем расходный коэффициент А в [м<sup>3</sup>/т]:

$$\gamma_A^{\text{факт}} = \frac{\gamma_A^{\text{факт}} * 1000}{\rho_A} = \frac{0,49 * 1000}{1,794} = 273,13 \text{ м}^3/\text{т}$$

4. Теоретический расходный коэффициент С с учетом чистоты веществ:

$$\gamma_C^T = \frac{M(C) * v_C * C_B}{M(B) * v_B * C_C} = \frac{80 * 1 * 0,95}{100 * 1 * 0,35} = 2,171 \text{ т}/\text{т}$$

5. Т.к. конверсия и селективность процесса по веществу С равна единице, то переходим сразу к расчету расходного коэффициента С с учетом потерь:

$$\gamma_C^{\text{факт}} = \gamma_C^T * \left(1 + \frac{\Pi_C}{100}\right) = 2,171 * \left(1 + \frac{3}{100}\right) = 2,236 \text{ т}/\text{т}$$

6. Рассчитаем расходный коэффициент С в [м<sup>3</sup>/т]:

$$\gamma_C^{\text{факт}} = \frac{\gamma_C^{\text{факт}} * 1000}{\rho_C} = \frac{2,236 * 1000}{1,7} = 1315,29 \text{ м}^3/\text{т}$$

7. Рассчитаем затраты на получение 1 тонны технического В:

$$3 = 273,13 * 10 + 1315,29 * 20 = 29037,1 \text{ руб}$$

**ОТВЕТ:** на получение 1 тонны технического вещества В требуется 0,49 т или 273,13 м<sup>3</sup> технического вещества А и 2,236 т или 1315,29 м<sup>3</sup> технического вещества С. Затраты составят 29037,1 руб./т В.

**ОПК-2.** Способен проводить химический эксперимент с использованием современного оборудования, соблюдая нормы техники безопасности

**ОПК-2.1.** Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности

**ОПК-2.2.** Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и материалов для решения задач профессиональной деятельности

**ОПК-2.3.** Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием современного научного оборудования

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1. Соотнесите типы течения с их характеристиками.**

1. Ламинарное течение

2. Турбулентное течение
3. Переходное течение

**Ответы:**

- A. Четкая слоистость
- B. Хаотичное движение
- C. Изменчивость между ламинарным и турбулентным

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 2.** Расположите этапы установки насосного оборудования в правильной последовательности.

- Подготовка фундамента
- Монтаж насоса
- Подключение трубопроводов

**ОТВЕТ:** Подготовка фундамента, Монтаж насоса, Подключение трубопроводов

**ЗАДАНИЕ 3.** Соотнесите типы теплообменников с их преимуществами.

1. Пластинчатый теплообменник
2. Трубчатый теплообменник
3. Спиральный теплообменник

**Ответы:**

- A. Компактность и высокая эффективность
- B. Простота конструкции и надежность
- C. Высокая площадь поверхности теплообмена

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 4.** Соотнесите процессы теплообмена с их применением.

1. Кондукция
2. Конвекция
3. Излучение

**Ответы:**

- A. Передача тепла через движение жидкости
- B. Передача тепла через твердое тело
- C. Передача тепла в виде электромагнитных волн

**ОТВЕТ:** 1-В, 2-А, 3-С

**ЗАДАНИЕ 5.** Соотнесите типы насосов с их характеристиками.

1. Вихревой насос
2. Диффузионный насос
3. Шестеренчатый насос

**Ответы:**

- A. Высокое давление при низком объеме
- B. Используется для создания вакуума
- C. Подходит для вязких жидкостей

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 6.** Соотнесите параметры трубопровода с их влиянием на гидравлические потери.

1. Диаметр трубы
2. Длина трубы
3. Шероховатость внутренней поверхности

**Ответы:**

- A. Увеличение гидравлических потерь
- B. Уменьшение гидравлических потерь
- C. Влияние на турбулентность потока

**ОТВЕТ:** 1-В, 2-А, 3-С

**ЗАДАНИЕ 7.** Соотнесите типы теплоносителей с их характеристиками.

1. Вода
2. Масло
3. Воздух

**Ответы:**

- A. Высокая теплоемкость
- B. Высокая температура кипения
- C. Низкая теплоемкость

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 8. Соотнесите методы улучшения теплообмена с их применением.**

1. Увеличение площади поверхности
2. Использование ребер
3. Увеличение скорости потока

**Ответы:**

- A. Повышение эффективности теплообмена
- B. Уменьшение сопротивления теплопередаче
- C. Повышение турбулентности

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1.** Определите минимальную температуру, при которой катализатор начинает работать с достаточной скоростью, если она равна 150°C. Укажите ее в кельвинах.

**ОТВЕТ:** 423,15 К

**ЗАДАНИЕ 2.** Газовая смесь содержит (% об.): аммиака - 10,5; кислорода - 17,5; азота - 70,0; водяного пара - 2. Рассчитать, каков будет состав газа после удаления из него паров воды.

**ОТВЕТ:** аммиака – 10,7%; кислорода – 17,9%; азота – 71,4%.

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1:** Составить материальный баланс печи для сжигания серы производительностью 60 т/сутки. Степень окисления серы 0,95 (остальная сера возгоняется и сгорает вне печи). Коэффициент избытка воздуха  $\lambda=1,5$ . Расчет вести на производительность печи по сжигаемой сере в кг/ч.

**РЕШЕНИЕ (ОТВЕТ):** Процесс горения серы описывается уравнением:  $S + O_2 = SO_2$ . Производительность печи:

$$P = \frac{60 \cdot 103}{24} = 2500 \text{ кг/ч.}$$

Находим массу серы:

- окисленной серы до  $SO_2$   $2500 \cdot 0,95 = 2375 \text{ кг}$ ,
- неокисленной серы  $2500 - 2375 = 125 \text{ кг}$ ,
- израсходовано кислорода:

$$\text{на окисление серы } \frac{2375 \cdot 22,4}{32} = 1663 \text{ м}^3.$$

$$\text{С учетом } \lambda, 1663 \cdot 1,5 = 2495 \text{ м}^3 \text{ или } \frac{2495 \cdot 32}{22,4} = 3560 \text{ кг.}$$

$$\text{Поступило с кислородом азота: } \frac{2495 \cdot 79}{21} = 9380 \text{ м}^3 \text{ или } \frac{9380 \cdot 28}{22,4} = 11700 \text{ кг.}$$

$$\text{Образовалось } SO_2 \text{ по реакции: } \frac{2375 \cdot 64}{32} = 4750 \text{ кг или } \frac{4750 \cdot 22,4}{64} = 1663 \text{ м}^3.$$

$$\text{Осталось неизрасходованного кислорода: } 1663 \cdot 0,5 = 832 \text{ м}^3 \text{ или } \frac{831 \cdot 32}{22,4} = 1185 \text{ кг.}$$

Материальный баланс печи представлен в таблице 1.

Таблица 1

Приход	кг	м <sup>3</sup>	Расход	кг	м <sup>3</sup>
S	2500		S	125	
O <sub>2</sub>	3560	2495	SO <sub>2</sub>	4750	1663
N <sub>2</sub>	11700	9380	O <sub>2</sub>	1185	831
			N <sub>2</sub>	11700	9380
Итого	17760	11875	Итого	17760	11758

**ОПК-3.** Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения

**ОПК-3.1.** Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности

**ОПК-3.2.** Использует стандартное программное обеспечение и специализированные базы данных при решении задач профессиональной деятельности

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1. Соотнесите расчетные методы с их применениеми.**

1. Метод конечных элементов
2. Метод Монте-Карло
3. Метод плотности функционала

**Ответы:**

- A. Моделирование сложных систем
- B. Статистический анализ случайных процессов
- C. Исследование электронных структур молекул

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 2. Установите соответствие между программным обеспечением и его функциями в химическом производстве.**

1. Aspen Plus
2. MATLAB
3. ChemCAD

**Ответы:**

- A. Моделирование и оптимизация процессов
- B. Численные расчеты и анализ данных
- C. Проектирование технологических процессов

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 3. Соотнесите программное обеспечение с его основным применением в химическом моделировании.**

1. Gaussian
2. COMSOL Multiphysics
3. ANSYS Fluent

**Ответы:**

- A. Моделирование молекулярных структур
- B. Моделирование многопроцессных систем
- C. Моделирование течений и теплообмена

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

**ЗАДАНИЕ 4. Соотнесите типы вычислительных моделей с их применением.**

1. Молекулярная динамика
2. Квантово-химические расчеты
3. Методы конечных объемов

**Ответы:**

- A. Моделирование на атомном уровне
- B. Анализ макроскопических процессов
- C. Исследование электронных структур

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-С, 3-В

**ЗАДАНИЕ 5. Установите соответствие между типами данных и их использованием в химическом моделировании.**

1. Экспериментальные данные
2. Теоретические данные
3. Статистические данные

**Ответы:**

- A. Подтверждение модели
- B. Разработка модели
- C. Анализ результатов

**ОТВЕТ:** 1-А, 2-В, 3-С

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1:** Заполните пропуск в предложении, выбрав правильное слово в нужной форме (родительский падеж, множественное число):

"Структура химико-технологических систем представляет собой совокупность \_\_\_\_\_ и связей."

Варианты: элемента, элементов, подсистем

**ОТВЕТ:** элементов

**ЗАДАНИЕ 2:** Заполните пропуск в предложении, указав правильный термин:

"Адсорбция — это процесс поглощения газов из газовой смеси \_\_\_\_\_ поглотителями."

Варианты: твердыми, жидкими, этиленгликолевыми

**ОТВЕТ:** твердыми

**ЗАДАНИЕ 3:** Определите движущую силу процесса массообмена, выбрав правильный термин:

"Основной движущей силой процесса массообмена является \_\_\_\_\_ распределяемого вещества."

Варианты: разность давлений, градиент температуры, градиент концентрации

**ОТВЕТ:** градиент концентрации

**ЗАДАНИЕ 4:** Заполните пропуск, указав правильный термин:

"В тепловых процессах движущей силой является \_\_\_\_\_ температуры."

Варианты: градиент, коэффициент, разность

**ОТВЕТ:** градиент

**ЗАДАНИЕ 7:** Заполните пропуск в предложении, выбрав правильное слово в нужной форме (предложный падеж, единственное число):

"Недостатком реактора вытеснения является трудность достижения хорошего перемешивания в \_\_\_\_\_."

Варианты: реакторе, катализаторе, аппарате

**ОТВЕТ:** реакторе

**ЗАДАНИЕ 8:** Заполните пропуск в предложении, выбрав правильное слово в нужной форме (именительный падеж, множественное число):

"Гомогенными называются процессы, осуществляемые в \_\_\_\_\_ какой-либо фазы."

Варианты: объемах, системах, условиях

**ОТВЕТ:** объемах

**ЗАДАНИЕ 10:** Заполните пропуск в предложении, выбрав правильное слово в нужной форме (родительный падеж, множественное число):

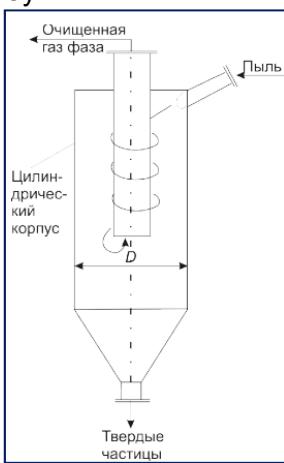
"Основным недостатком гомогенного катализа является трудность выделения \_\_\_\_\_ из производственной смеси."

Варианты: катализаторов, отходов, процессов

**ОТВЕТ:** катализаторов

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

**ЗАДАНИЕ 1:** Пыль, дым (газовая суспензия) тангенциально вводятся в циклон (рис.), поток газовой (жидкой) фазы закручивается вокруг центральной трубы, твердые частицы за счет возникающей центробежной силы отбрасываются к стенке корпуса и опускаются по коническому днищу к разгрузочному отверстию. Очищенный газовый (жидкий) поток выводится через центральную трубу.



Перепад давления в циклоне  $\Delta P = 1000$  Па, плотность газа  $\rho = 1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$ , коэффициент сопротивления циклона  $\xi = 100$ , объемный расход газовой фазы  $2,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Определить диаметр циклона.

**РЕШЕНИЕ (ОТВЕТ):**

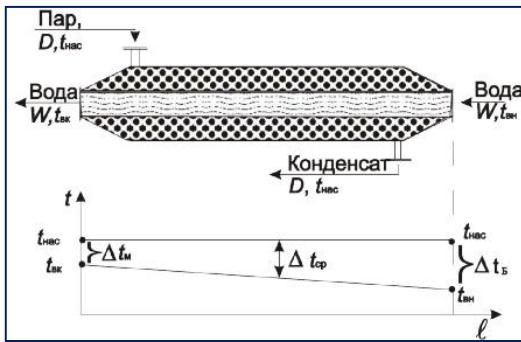
Определение условной скорости газа в циклоне  $w_{yсл}$

$$w_{yсл} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \xi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{1,3 \cdot 100}} = 3,92 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Определение диаметра циклона  $D$

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} w_{yсл};$$

$$D = \sqrt{\frac{4V_r}{\pi w_{yсл}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2}{\pi \cdot 3,92}} = 0,85 \text{ м}$$



**ЗАДАНИЕ 2:** В теплообменнике типа «труба в трубе» (рис.) конденсируется  $D = 3000$  кг/ч насыщенных паров сероуглерода при  $t_{нас} = 46$  °С. По внутренней трубе идет охлаждающая вода,  $t_{вн} = 10$  °С,  $t_{вк} = 40$  °С. Теплота парообразования сероуглерода  $r = 340$  кДж/кг. Конденсат пара сероуглерода выходит из аппарата с  $t_{нас} = 46$  °С. Коэффициент теплопередачи  $K = 2000$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Определить тепловую нагрузку теплообменника, расход охлаждающей воды и поверхность теплообмена (без учета тепловых потерь в окружающую среду).

**РЕШЕНИЕ (ОТВЕТ):**

1. Тепловая нагрузка теплообменника

$$Q = rD = 340 \cdot 3000 = 1020000 \text{ кДж/ч.}$$

2. Расход охлаждающей воды

$$W c_{\text{в}} (t_{\text{вк}} - t_{\text{вн}}) = Q$$

где

$$W = \frac{Q}{c_{\text{в}} (t_{\text{вк}} - t_{\text{вн}})} = \frac{1020000}{4,19(40-10)} = 8115 \text{ кг/ч,}$$

$c_{\text{в}} = 4,19$  кДж/(кгК) – теплоемкость воды.

3. Средняя движущая сила процесса

$$\Delta t_6 = t_{\text{нас}} - t_{\text{вн}} = 46 - 10 = 36 \text{ °C}$$

$$\Delta t_m = t_{\text{нас}} - t_{\text{вк}} = 46 - 40 = 6 \text{ °C. Так как } \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = 36 > 2, \text{ то}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)} = \frac{36 - 6}{\ln(36 / 6)} = 16,8 \text{ °C.}$$

4. Поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}} = \frac{1020000}{2,0 \cdot 3600 \cdot 16,8} = 8,43 \text{ м}^2.$$

#### Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из выполнения нескольких подзаданий, 50% которых выполнено верно);
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).