

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Химический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Химическая технология

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

04.03.01 - Химия

---

Направленность образовательной программы

Химия и материаловедение

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.03.10 Химическая технология относится к обязательной части образовательной программы.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений	ОПК-1.1: Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчётов свойств веществ и материалов. ОПК-1.2: Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчётно-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 расчётно-теоретических работ химической направленности.	ОПК-1.1: Знать теоретические основы стандартных химических операций. Уметь обрабатывать и анализировать результаты химических экспериментов. Владеть навыками оформления результатов химических экспериментов, наблюдений, измерений.  ОПК-1.2: Знать теоретические основы традиционных и новых разделов химии. Уметь объяснить результаты собственных экспериментов и расчётно-теоретических работ по предлагаемым методикам. Владеть базовыми навыками интерпретации результатов экспериментальных и расчётно-теоретических работ химической направленности.  ОПК-1.3: Знать теоретические основы типовых процессов химической промышленности. Уметь формулировать выводы по результатам анализа литературных данных и собственных работ	Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

		химической направленности. Владеть навыками обобщения результатов анализа литературных данных и собственных работ химической направленности.		
ОПК-2: Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием	ОПК-2.1: Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности. ОПК-2.4: Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования.	ОПК-2.1: Знать химические свойства веществ и материалов и правила безопасного обращения с ними. Уметь проводить химический эксперимент на современном оборудовании с соблюдением норм техники безопасности. Владеть навыками проведения химического эксперимента с соблюдением норм техники безопасности.  ОПК-2.4: Знать основные принципы работы контрольно-измерительных приборов, используемых в химической промышленности. Уметь проводить измерения по стандартным и новым методикам, использовать программные продукты для контроля эксперимента и обработки его результатов. Владеть навыками измерения параметров изучаемого процесса на современном оборудовании.	Допуск к лабораторной работе	Экзамен: Контрольные вопросы
ОПК-3: Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники	ОПК-3.1: Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности. ОПК-3.2: Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности.	ОПК-3.1: Знать основные закономерности типовых процессов химической технологии. Уметь применять теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химико-технологической направленности. Владеть навыками решения задач химико-технологической направленности.	Аудиторная контрольная работа	Экзамен: Задачи

		<p><b>ОПК-3.2:</b>  Знать основное стандартное программное обеспечение и специальные базы данных, необходимые для решения задач химико-технологической направленности.  Уметь применять стандартное программное обеспечение и специальные базы данных, необходимые для решения задач химико-технологической направленности.  Владеть навыками использования стандартного программного обеспечения и специальных баз данных, необходимых для решения задач химико-технологической направленности.</p>		
<p><b>ОПК-4:</b> Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>	<p><b>ОПК-4.1:</b> Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности.  <b>ОПК-4.2:</b> Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик.  <b>ОПК-4.3:</b> Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.</p>	<p><b>ОПК-4.1:</b>  Знать теоретические основы математики, физики, неорганической, органической и физической химии, необходимые при планировании работ химической направленности.  Уметь применять знания в области физики, математики и химии для описания явлений химико-технологической направленности.  Владеть навыками планирования работы химико-технологической направленности.</p> <p><b>ОПК-4.2:</b>  Знать способы аппроксимации численных характеристик типовых процессов химической технологии.  Уметь применять способы аппроксимации численных характеристик типовых процессов химической технологии.  Владеть навыками использования теоретических</p>	Коллоквиум	<p>Экзамен:  Контрольные вопросы</p>

		<p>знаний и практических навыков при обработке результатов.</p> <p>ОПК-4.3: Знать физические законы и предоставляя необходимые для интерпретации результатов химических наблюдений. Уметь применять физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических наблюдений. Владеть навыками интерпретации результатов химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.</p>		
ОПК-6: Способен представлять результаты своей работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе	<p>ОПК-6.1: Представляет результаты работы в виде отчёта по стандартной форме на русском языке.</p> <p>ОПК-6.4: Готовит презентацию по теме работы и представляет её на русском и английском языках.</p>	<p>ОПК-6.1: Знать стандартные требования, предъявляемые к результатам лабораторных работ в виде отчёта. Уметь анализировать результаты лабораторных работ с целью выявления возможных ошибок. Владеть навыками корректного представления результатов лабораторных работ в виде отчёта.</p> <p>ОПК-6.4: Знать стандартные требования предъявленные к презентации химико-технологической направленности. Уметь предоставлять устный доклад в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе. Владеть навыками представления презентации химико-технологической направленности.</p>	Доклад-презентация Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>11</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>396</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>192</b>
- КСР	<b>4</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>64</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>72</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Общие вопросы химической технологии	33	8	10	18	15
Тема 2. Теоретические основы химической технологии	187	44	118	162	25
Тема 3. Структура и технологические схемы химических производств	100	12	64	76	24
Аттестация	72				
КСР	4				4
Итого	396	64	192	260	64

#### Содержание разделов и тем дисциплины

##### 1. Общие вопросы химической технологии

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

производств, защиты окружающей среды.

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

Сырьевое обеспечение химических производств. Классификация сырья химических производств.

Возобновляемые и невозобновляемые источники сырья. Полупродукты и отходы производств как сырье.

Характеристики степени использования сырья: степень превращения, выход продукта, селективность, расходный коэффициент. Проблемы комплексного и безотходного использования сырья. Интегральные уравнения баланса материальных потоков в технологических системах.

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

Основы эксергетического метода анализа технологических систем преобразования вещества и энергии.

Термодинамическая оценка качества различных форм энергии. Уравнения баланса эксергии, эксергетический КПД. Вопросы термодинамической оптимизации технологических процессов.

Энерготехнологические схемы и их сущность.

Катализ в промышленности. Технологические характеристики катализаторов.

## 2. Теоретические основы химической технологии

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

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

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

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

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

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

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

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

Представления о механизме массопереноса. Уравнение массоотдачи. Подобие процессов переноса массы. Диффузионные критерии подобия. Обобщенное критериальное уравнение массоотдачи.

Аналогия процессов переноса массы, теплоты и переноса импульса.

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

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

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

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

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

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

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

Адиабатические реакторы. Уравнение теплового баланса адиабатических реакторов разных типов.

Графический метод совместного решения уравнений теплового и материального баланса. Анализ устойчивости работы адиабатического проточного реактора идеального смешения на примере разных реакций. Способы повышения устойчивости работы реакторов и получения оптимальных показателей процесса.

Изотермические реакторы идеального смешения непрерывного действия и идеального вытеснения.

Уравнения теплового баланса политропических реакторов.

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

3. Структура и технологические схемы важнейших химических производств

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

Производство серной кислоты. Основные виды сырья для получения серной кислоты. Физико-химические основы и функциональные схемы контактного метода получения серной кислоты.

Особенности технологических схем ее получения из различных видов сырья. Основные тенденции развития сернокислотного производства.

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

Производство фосфора, фосфорной кислоты, солей и удобрений. Современное состояние производства минеральных удобрений (ассортимент, масштабы, качество, способы получения). Виды фосфорсодержащего сырья. Альтернативные способы получения фосфорной кислоты: термический и экстракционный. Особенности аппаратного оформления производства фосфорной кислоты.

Производство аммофоски и нитроаммофоски как примеры комбинирования производств при получении комплексных удобрений.

Важнейшие электрохимические производства и перспективы их совершенствования.

Переработка углеродсодержащего сырья – нефти, природного газа и угля в качестве сырья химических производств. Переработка углеродсодержащего сырья на парафины, олефины, ароматические



углеводороды, ацетилен и синтез-газ. Технология основного органического синтеза.

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

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 64 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- открытый онлайн-курс МООС "Промышленные химико-технологические процессы" (<https://moos.unn.ru/course/view.php?id=68>).

Иные учебно-методические материалы: Клапшин Ю.П., Корытцева А.К. Измерение температуры в химической промышленности. Методическая разработка. - Н. Новгород: ННГУ, 2004. – 32 с.

2. Клапшин Ю.П., Щелоков И.А. Теплообменные процессы в химической технологии. Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. - 24 с.
3. Сибиркин А.А. Разделение смесей летучих веществ периодической ректификацией. Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: ННГУ, 2020. - 38 с
4. Петьков В.И., Корытцева А.К. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ: Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. - 75 с.
5. Телегин С.В., Майоров П.А. Природные и промышленные воды. Промышленная водоподготовка. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. - 26 с.
6. РАСЧЕТЫ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Часть 1. Химические реакторы, работающие в изотермическом режиме. Составители: Петьков В.И., Корытцева А.К., Асабина Е.А. Учебно-методическое пособие для практикума: Нижний Новгород, 2008. - 33 с.
7. Корытцева А.К. ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ: Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. - 48 с.
8. Корытцева А.К., Майоров П.А. Справочные материалы по химической технологии: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. - 66 с.
9. Лабораторный практикум по гидравлике: Учебно-методическое пособие/ Составители: Белоусов А.С., Корытцева А.К., Крашенинникова О.В., Петьков В.И., Телегин С.В., Пятеников Е.А., Смирнов С.М. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. -66с.
10. Петьков В.И. Уравнения материального баланса непрерывной ректификации. Выбор рабочего флегмового числа: учебно-методическое пособие.- Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023.-24 с.

11. ПРАКТИКУМ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ. Авторы: Белоусов А.С., Корытцева А.К., Крашенинникова О.В., Петьков В.И., Телегин С.В., Пятериков Е.А., Смирнов С.М.: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2024. – 99 с.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Произведите расчет коэффициента теплопередачи двухтрубчатого водо-водяного теплообменника типа "труба в труба".
2. Проанализируйте, как меняется коэффициент теплоотдачи горячего теплоносителя при изменении режима движения воды в теплообменнике при выполнении Вами лабораторной работы "Изучение термического сопротивления двухтрубчатого теплообменника". Соответствует ли это теоретическим представлениям?
3. Как можно объяснить, что при измерении температуры воды в термостате термометрами разного типа получаются разные значения?
4. Как определить лимитирующую стадию гетерогенного процесса обжига колчедана при выполнении Вами лабораторной работы "Обжиг твердых материалов"? Сформулируйте выводы по проделанной работе.

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-6:**

1. Выполните расчет степени выгорания серы в ходе выполнения лабораторной работы «Обжиг твердых материалов».
2. Составьте таблицу, включающую экспериментальные и расчетные данные, полученные при выполнении лабораторных работ
3. Рассчитайте выход продукта в ходе выполнения лабораторной работы «Реактор идеального смешения периодического действия (РИС-П)».
4. Как рассчитать тепловую нагрузку теплообменника? Какие величины для этого нужно определить экспериментально? (лабораторная работа «Изучение термического сопротивления двухтрубчатого теплообменника»)
5. Сформулируйте основные этапы расчета коэффициента теплоотдачи (с использованием критериальных уравнений). (лабораторная работа «Изучение термического сопротивления двухтрубчатого теплообменника»)
6. В чем заключается физический смысл коэффициента теплопередачи и как он рассчитывается? (лабораторная работа «Изучение термического сопротивления двухтрубчатого теплообменника»)
7. Как определить гидродинамический режим движения теплоносителей? Приведите пример расчета. (лабораторная работа «Изучение термического сопротивления двухтрубчатого теплообменника»)
8. Что такое устойчивость технологического режима?
9. Проанализируйте устойчивость режима на примере адиабатического РИС-Н.
10. Сформулируйте качественные рекомендации по повышению устойчивости технологического режима.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отчет должен удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к оформлению отчета. Содержание отчета соответствует названию лабораторной работы. Результаты эксперимента отражены в отчете, соответствуют данным в подписанном протоколе, обработаны, сделаны соответствующие выводы
не зачтено	Содержание отчета не соответствует теме лабораторной работы, предъявляемые требования к оформлению лабораторной работы не соблюдены. Результаты эксперимента не отражены в отчете, либо не соответствуют протоколу, не обработаны, выводы по работе не сделаны. Или отчет не предоставлен.

#### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

1. Опишите принцип действия и устройство следующих видов термометров: жидкостные термометры расширения; деформационные термометры; манометрические термометры (газовые, жидкостные, паровые); термометры сопротивления; терморезисторы; термоэлектрический термометр; радиационный пирометр.
2. Какими термометрами можно измерить следующие температуры: -200°C, -100°C, -50°C, 0°C, 50°C, 100°C, 200°C, 800°C, 1000°C, 1500°C, 2000°C?
3. Как измеряется температура в колонне синтеза аммиака?
4. Перечислите технологические подсистемы в производстве азотной кислоты.
5. Каким образом осуществляется управление процессом при нарушениях технологического режима?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Допустимый уровень знаний выше минимального. Продемонстрированы основные умения. При решении типовых заданий могут быть негрубые ошибки. Имеется набор навыков выше минимального для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки. Или невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

#### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Аудиторная контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

Контрольная работа 3

1. Изотермическая реакция типа  $A + B \rightarrow 2R + S$  протекает в периодическом РИС при начальных концентрациях  $C_{A,0} = C_{B,0} = 1,2 \text{ кмоль/м}^3$ . За 240 с достигается степень превращения по веществу А 20%. Порядок реакции второй. Определите константу скорости
2. Жидкофазную реакцию  $A + B \leftrightarrow 2R$  проводят в проточном РИС. Константа скорости прямой реакции  $k_{\text{пр}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кмоль} \cdot \text{сек}$ , константа скорости обратной реакции  $k_{\text{обр}} = 0,42 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кмоль} \cdot \text{сек}$ . Рассчитайте объем реактора, необходимый для получения  $x_B = 0,3$ . Исходные вещества подаются отдельно. Скорость подачи вещества А равна  $0,008 \text{ м}^3/\text{сек}$ , начальная концентрация А в потоке  $0,12 \text{ кмоль/м}^3$ . Скорость подачи В  $0,006 \text{ м}^3/\text{сек}$ , начальная концентрация В в потоке  $0,15 \text{ кмоль/м}^3$ . Продукт в исходном растворе отсутствует. Плотность смеси постоянна.
3. Как провести анализ устойчивости теплового режима в адиабатическом реактора идеального смешения непрерывного действия?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Аудиторная контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами

Оценка	Критерии оценивания
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.1.5 Типовые задания (оценочное средство - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:

Программа коллоквиума 1

1. Классификация основных процессов и типовых аппаратов, реализующих этапы современных химико-технологических процессов.
2. Общие принципы расчета ХТП и аппаратов.
3. Технологические критерии эффективности ХТП
4. Проблема масштабного перехода от лабораторного эксперимента к промышленному производству. Теория подобия – аппарат моделирования.
5. Теоремы подобия.
6. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.
7. Предмет и задачи технической гидравлики.
8. Классификация гидромеханических процессов.
9. Уравнение сплошности потока.
10. Дифференциальные уравнения гидродинамики реальной и идеальной жидкостей. Гидродинамическое подобие. Обобщенное критериальное уравнение гидродинамики.
11. Общая характеристика тепловых процессов. Типы переноса теплоты. Температурное поле. Температурный градиент.
12. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
13. Передача тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла. Тепловое подобие. Обобщенное уравнение конвективного теплообмена.
14. Классификация и характеристика процессов массообмена.

15. Молекулярная диффузия, конвективный массообмен, турбулентная диффузия.
16. Обобщенное уравнение конвективного массообмена.
17. Аналогия процессов переноса тепла и массы.
18. Основные уравнения процессов массопередачи

### Критерии оценивания (оценочное средство - Коллоквиум)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.1.6 Типовые задания (оценочное средство - Доклад-презентация) для оценки сформированности компетенции ОПК-6:

#### Темы докладов-презентаций

1. Производство минеральных удобрений;
2. Синтез метанола;
3. Производство вискозного/полиамидного волокна (по выбору);
4. Производство поливинилхлорида/полиэтилена (по выбору).

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Доклад-презентация)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Допустимый уровень знаний выше минимального. Продemonстрированы основные умения. При решении типовых заданий могут быть негрубые ошибки. Имеется набор навыков выше минимального для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки. Или невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в

	ответа		Выполнены все задания, но не в полном объеме	ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

**5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

**5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1**



1. Сущность и методы составления, изображения и интерпретации материальных и энергетических балансов ХТС и ее подсистем.
2. Проанализируйте сдвиг равновесия в желаемую сторону под влиянием температуры, давления, концентрации реагирующих веществ и инертных газообразных примесей.
3. Общие особенности гетерогенных процессов. Факторы, определяющие скорость гетерогенно протекающих реакций. Подразделение гетерогенных процессов на группы систем с целью получения обобщений при описании их кинетики.
4. Макроскопическая кинетика – фундаментальная научная основа для изучения процессов химического переноса веществ в условиях переноса массы, энергии и импульса. Какие факторы и каким образом влияют на скорость ХТП.
5. Катализ. Влияние катализаторов на скорость химических реакций. Производственные процессы с применением катализаторов. Основные типы контактных аппаратов.
6. Отклонение реальных потоков от идеализированных. Сравните существующие модели неидеальных потоков.
7. Линия оптимальных температур. Проанализируйте промышленные способы осуществления оптимального температурного режима обратимых экзотермических процессов, назовите их достоинства и недостатки.
8. Место и роль термодинамики, химической и макроскопической кинетики, катализа в технологии на примере промышленного решения проблемы связывания азота. Физико-химические основы выбора оптимальных условий. Технологическое оформление процесса синтеза аммиака. Основные направления в развитии производства аммиака.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

1. Классификация основных процессов и типовых аппаратов, реализующих этапы современных химических процессов. Кинетические закономерности основных процессов химической технологии.
2. Технологические критерии эффективности ХТП. Общие принципы расчета ХТП и аппаратов.
3. Теория подобия – аппарат моделирования. Теоремы подобия. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.
4. Расчет теплового эффекта и теоретической температуры реакции.
5. Влияние температуры на скорость химических реакций и степень превращения реагента.
6. Влияние концентрации реагирующих веществ и давления на скорость химических реакций.
7. Кинетические модели некаталитических процессов в системе "газ (жидкость) – твердое вещество".
8. Математическая модель каскада реакторов идеального смешения, работающего в изотермическом режиме.

9. Сопоставьте альтернативные способы получения водорода (вариации способов производства: термохимический, электрохимический и термоконверсионный)

### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-4**

1. Классификация основных процессов и типовых аппаратов, реализующих этапы современных химических процессов. Кинетические закономерности основных процессов химической технологии.
2. Технологические критерии эффективности ХТП. Общие принципы расчета ХТП и аппаратов.
3. Теория подобия – аппарат моделирования. Теоремы подобия. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.
4. Расчет теплового эффекта и теоретической температуры реакции.
5. Влияние температуры на скорость химических реакций и степень превращения реагента.
6. Влияние концентрации реагирующих веществ и давления на скорость химических реакций.
7. Кинетические модели некаталитических процессов в системе "газ (жидкость) – твердое вещество".
8. Математическая модель каскада реакторов идеального смешения, работающего в изотермическом режиме.
9. Сопоставьте альтернативные способы получения водорода (вариации способов производства: термохимический, электрохимический и термоконверсионный)

### **5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-6**

1. Химическая технология – важнейшая область знаний и практической деятельности. Динамика развития и тенденции.
2. Необходимость создания принципиально новых технологических процессов в условиях изменения ресурсо- и энергосбережения и повышенных требований к безопасности и экологической чистоте химических производств. Основные принципы новой технологической идеологии.
3. Покажите на конкретных примерах тенденцию увеличения степени химизации различных отраслей хозяйства.
4. Проблема масштабного перехода от лабораторного эксперимента к промышленному производству. Пути ее решения.
5. Предмет и задачи технической гидравлики. Классификация гидромеханических процессов. Движение идеальных жидкостей. Уравнение сплошности потока. Режимы течения сплошной среды.
6. Дифференциальные уравнения гидродинамики реальной (вязкой) и идеальной жидкостей.
7. Гидродинамическое подобие. Обобщенное (критериальное) уравнение гидродинамики.
8. Общая характеристика тепловых процессов. Типы переноса теплоты. Температурное поле. Температурный градиент.
9. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
10. Передача тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла.
11. Тепловое подобие. Обобщенное уравнение конвективного теплообмена.
12. Теплообмен излучением. Основные законы излучения. Лучистый теплообмен между телами.
13. Характеристика процессов массопередачи. Молекулярная диффузия и конвективный перенос.
14. Конвективная диффузия. Обобщенное уравнение конвективного массообмена. Аналогия с теплообменом.

15. Основные уравнения массопередачи. Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи.
16. Основные стадии и кинетические особенности процессов в системах "газ – твердый катализатор".
17. Исходные положения для расчёта реакторов. Уравнения материального и энергетического балансов – основа математической модели химического реактора. Модели идеальных потоков.
18. Математическая модель реактора идеального смешения с непрерывной подачей реагентов, работающего в изотермическом режиме. Проанализируйте достоинства и недостатки проточных реакторов.
19. Сравните эффективность реакторов идеального вытеснения и идеального смешения для различных типов реакций.
20. Адиабатические реакторы, их математические модели.
21. Графический метод совместного решения уравнений материального и теплового балансов для стационарного адиабатического реактора идеального смешения непрерывного действия.
22. Изотермические и политропические реакторы, их математические модели.
23. Устойчивость теплового режима в реакторе.
24. Основные виды углеродсодержащего сырья и методы его переработки.
25. Сопоставьте альтернативные способы производства полиэтилена (вариации параметров процесса, в частности, давления).
26. Основной органический синтез. Производство метанола.
27. Технология нефти. Продукты переработки нефти.
28. Производство жидких топлив. Основные требования, предъявляемые к карбюраторным и дизельным топливам. Октановое и цетановое число.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы

Оценка	Критерии оценивания
	базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

### 5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Определите выход продукта **R** и степень превращения реагента **A**, если обратимая реакция  $A \leftrightarrow 2R$  протекает при условиях, когда равновесная степень превращения  $x(A, \text{равн.}) = 0,75$ . Отношение концентраций продукта и реагента после окончания реакции составляет  $C(R) : C(A) = 1$ .
2. Составить материальный баланс печи для сжигания серы производительностью 60 т/сутки. Степень окисления серы 95% (остальная сера возгоняется и сгорает вне печи). Коэффициент избытка воздуха 1,5. Расчет произвести по сжигаемой сере в кг/час.
3. Составьте тепловой баланс реактора синтеза этилового спирта  $CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$ ,  $\Delta_r H = -46090$  кДж/моль. Известно, что исходный газ имеет состав: 60 об.%  $C_2H_4$  и 40 об.%  $H_2O$ ; скорость подачи исходного газа в реактор-гидратор 2000 м<sup>3</sup>/час; температура газовой смеси на входе в реактор 563 К, на выходе – 614 К; конверсия этилена за 1 проход составляет 5%; теплоемкость продуктов на входе и на выходе одинакова и равна 27.1 кДж/моль·К; потери теплоты в окружающую среду принимаем 3 % от прихода теплоты.
4. Определить режим течения воды в кольцевом пространстве теплообменника типа «труба в трубе». Наружная труба имеет диаметр  $\varnothing 96 \times 3.5$  мм, а внутренняя -  $\varnothing 57 \times 3$  мм. Расход воды 3.6 м<sup>3</sup>/час, средняя температура 20 °С.
5. По стальному трубопроводу внутренним диаметром 200 мм длиной 1000 м передается водород в количестве 120 кг/час. Среднее давление в сети 1530 мм рт. ст., температура газа 27°С. Определить потерю давления на трение.
6. Как изменится коэффициент теплопередачи в выпарном аппарате, если заменить стальные трубы диаметром 38×2.5 мм на медные такого же размера, если  $\alpha_{\text{кип.раств}} = 2320$  Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $\alpha_{\text{гр.пара}} = 11600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)? Загрязнений поверхности не учитывать.
7. На складе имеется кожухотрубчатый теплообменник, состоящий из 19 латунных труб  $\varnothing 18 \times 2$  мм, длиной 1.2 м. Достаточно ли его поверхность для конденсации 350 кг/ч насыщенного пара этилового спирта, если коэффициент теплопередачи равен 700 Вт/(м<sup>2</sup>·К), начальная температура воды 15°С, а конечная 35°С? Конденсация спирта предполагается при атмосферном давлении, жидкий спирт отводится при температуре конденсации.

8. При 25°C приведены в соприкосновение: воздух атмосферного давления, содержащий 14 об.% ацетилена, и вода, содержащая растворенный ацетилен в количестве: а) 0.29 мг на 1 кг воды; б) 0.153 мг на 1 кг воды. Определить: 1) из какой фазы в какую будет переходить ацетилен; 2) движущую силу перехода в относительных мольных долях. Общее давление 765 мм рт.ст. Равновесные содержания ацетилена в газовой и жидкой фазах определяются законом Генри.
9. Скруббер для поглощения паров ацетона из воздуха орошается чистой водой в количестве 3000 кг/час при 20°C и атмосферном давлении. Исходная паровоздушная смесь содержит 6 об.% ацетона. Расход чистого воздуха в поступающей смеси равен 1400 м<sup>3</sup>/ч (считая на нормальные условия). Степень поглощения ацетона 98 %. Уравнение линии равновесия:  $Y^* = 1.68 \cdot X$  (кмоль ацетона/кмоль воды (воздуха)). Определите поверхность массопередачи, если коэффициент массопередачи равен  $K_y = 0.4$  кмоль ацетона/[м<sup>2</sup>·ч·(кмоль ацетона/кмоль воздуха)].
10. В РИС-П объемом 5 м<sup>3</sup> проводится изотермическая реакция  $2A \rightarrow P$ . Начальная концентрация вещества А 11 кмоль/м<sup>3</sup>. Кинетическое уравнение  $-r_A = kCA^2$ . Константа скорости реакции 0.8 м<sup>3</sup>/кмоль×час. Вспомогательное время (загрузка и выгрузка) 30 минут. Степень заполнения реактора 0.8. Определите время, необходимое для достижения степени превращения 90%. Рассчитайте производительность и интенсивность работы реактора по реагенту А. Считать, что процесс протекает без изменения объема смеси.
11. В РИС-Н объемом 0.12 м<sup>3</sup> протекает в жидкой фазе реакция  $A + B \leftrightarrow R + S$ . Константа скорости прямой реакции 0.118 м<sup>3</sup>/кмоль×сек, обратной 0.05 м<sup>3</sup>/кмоль×сек. В реактор поступают непрерывно с одинаковыми объемными скоростями два потока жидкости, в одном из которых содержится 2.8 кмоль/м<sup>3</sup> вещества А; а в другом 1.6 кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Определите, с какой скоростью необходимо подавать каждый раствор, чтобы за время пребывания в аппарате прореагировало 75 % вещества В. Плотности жидкостей в процессе реакции не изменяются.
12. Реакция типа  $A + B \rightarrow \text{Продукты}$  проводится в РИВ, объемом 0.1 л. Кинетическое уравнение  $-r_A = k \times C_A \times C_B$ . Константа скорости  $k = 8.33 \text{ м}^3/\text{кмоль} \times \text{сек}$ . Объемная скорость подачи исходных веществ  $8.33 \times 10^{-7} \text{ м}^3/\text{сек}$ . Концентрации реагентов в исходной смеси  $C_{A,0} = C_{B,0} = 0.01 \text{ кмоль/м}^3$ . Какую степень превращения можно ожидать для каждого из реагирующих веществ? Каков должен быть объем проточного РИС для достижения той же, что и в РИВ, степени превращения при той же скорости реакции? Какую степень превращения можно ожидать в проточном РИС, имеющем объем, равный по объему РИВ, при той же скорости реакции?
13. В каскаде РИС, состоящем из 4 ступеней, объемом каждая по 0.18 м<sup>3</sup>, проводится реакция  $A \rightarrow B$ .  $C_{A,0} = 0.2 \text{ кмоль/м}^3$ , объемный расход 0.5 м<sup>3</sup>/ч; константа скорости 0.8 ч<sup>-1</sup>. Определить степень превращения графическим методом.
14. В реакторе идеального смешения объемом 0.3 м<sup>3</sup> проводится экзотермическая реакция типа  $A \rightarrow R$ . Константа скорости реакции описывается уравнением  $k = 10^3 \exp[-22000/(RT)] [\text{мин}^{-1}]$ . Тепловой эффект реакции составляет 10000 кДж/кмоль. Плотность реакционной массы не зависит от степени превращения и равна 400 кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость раствора 4 кДж/(кг·К). Раствор реагента А подается с концентрацией 6.5 кмоль/м<sup>3</sup> в количестве 0.8 м<sup>3</sup>/час. Рассчитайте, при какой температуре следует подавать исходный раствор компонента А в реактор, работающий в адиабатическом режиме, чтобы температура в нем не превышала 60 °С.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован

Оценка	Критерии оценивания
	творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Кутепов Алексей Митрофанович. Общая химическая технология : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности хим.-технол. профиля. - 3-е изд., перераб. - М. : Академкнига, 2007. - 528 с. - (Учебники для вузов). - ISBN 978-5-94628-315-1 : 268.80., 48 экз.
2. Касаткин Андрей Георгиевич. Основные процессы и аппараты химической технологии : [учеб. для хим.-технол. специальностей вузов]. - Изд. 9-е, испр. - М. : Химия, 1973. - 750 с. : ил. - 2.76., 11 экз.
3. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учеб. для вузов : в 2 кн. Кн. 1 / под

ред. В. Г. Айнштейна. - 2006. - 912 с. : ил. - ISBN 5-98704-089-2 : 264.00., 50 экз.

4. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии : учеб. для вузов : в 2 кн. Кн. 2 / под ред. В. Г. Айнштейна. - 2006. - 872 с. : ил. - ISBN 5-98704-090-6 : 264.00., 50 экз.

5. Фролов Владимир Федорович. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии" : учеб. пособие по одноименной дисциплине. - СПб. : Химиздат, 2003. - 608 с. : ил. - ISBN 5-93808-039-8 : 185.00., 49 экз.

6. Романков Петр Григорьевич. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Хим. технология и биотехнология" и специальности "Хим. технология". - СПб. : Химиздат, 2010. - 544 с. : ил. - ISBN 978-5-93808-182-6 : 510.32., 45 экз.

7. Павлов Константин Феофанович. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : [учеб. пособие для вузов] / под ред. П. Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л. : Химия, 1987. - 574 с. - 1.50., 61 экз.

8. Игнатенков Владимир Иванович. Примеры и задачи по общей химической технологии : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по хим.-технол. направлениям подготовки бакалавров и дипломированных специалистов. - М. : ИКЦ "Академкнига", 2006. - 198 с. : ил. - ISBN 5-94628-148-8 : 154.88., 5 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Бесков В. С. Общая химическая технология : учеб. для студентов вузов, обучающихся по хим.-технол. направлениям подготовки бакалавров и дипломированных специалистов. - М. : ИКЦ "Академкнига", 2006. - 452 с. - (Учебник для вузов). - ISBN 5-94628-149-6 : 364.88., 5 экз.

2. Дытнерский Юрий Иосифович. Процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов : в 2 ч. Ч. 1 : Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. - [2-е изд.]. - М. : Химия, 1995. - 399,[1] с. : ил. - (Для высшей школы). - 25.00., 1 экз.

3. Дытнерский Юрий Иосифович. Процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов : в 2 ч. Ч. 2 : Массообменные процессы и аппараты. - [2-е изд.]. - М. : Химия, 1995. - 367,[1] с. : ил. - (Для высшей школы). - 25.00., 1 экз.

4. Гельперин Нисон Ильич. Основные процессы и аппараты химической технологии : [учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов]. Кн. 1. - М. : Химия, 1981. - 384 с. : ил. - (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). - 1.10., 10 экз.

5. Гельперин Нисон Ильич. Основные процессы и аппараты химической технологии : [учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов : в 2 кн.]. Кн. 2. - М. : Химия, 1981. - 811 с. : ил. - (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). - 1.20., 13 экз.

6. Основы химической технологии : [учеб. для хим.-технол. специальностей вузов] / под ред. И. П. Мухленова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1991. - 462, [2] с. : ил. - ISBN 5-06-001735-4 (в пер.) : 2.20., 56 экз.

7. Кафаров Виктор Вячеславович. Математическое моделирование основных процессов химических производств : [учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов]. - М. : Высшая школа, 1991. - 399, [1] с. - ISBN 5-06-002066-5 : 1.80., 14 экз.

8. Бродянский Виктор Михайлович. Эксергетический метод термодинамического анализа. - М. : Энергия, 1973. - 296 с., 2 отд. л. диагр. : черт. - 2.26., 2 экз.

9. Франк-Каменецкий Давид Альбертович. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / отв. ред. Р. И. Солоухин ; АН СССР, Ин-т хим. физики, Науч. совет по проблеме "Теоретические

основы процессов горения". - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Наука, 1987. - 490, [1] с., [1] л. портр. : ил. - 3.40., 1 экз.

10. Катализ в промышленности : в 2 т. Т. 2 / [авт. т.: А. Слейт и др.] ; пер. т. А. Н. Караванова ; ред. Б. Лич ; пер. с англ. под ред. В. М. Грязнова. - М. : Мир, 1986. - 290, [1] с. : ил. - 3.30., 1 экз.

11. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов : пер. с англ. / под ред. и с доп. М. Г. Слинько. - М. : Химия, 1969. - 621 с. : черт. - 3.27., 2 экз.

12. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник. Книга 1. К. 1 / Айнштейн В. Г., Захаров М. К., Носов Г. А., Захаренко В. В., Зиновкина Т. В., Таран А. Л., Костянян А. Е., Айнштейна В. Г. - 8-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 916 с. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-2975-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798654&idb=0>.

13. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник. Книга 2. К. 2 / Айнштейн В. Г., Захаров М. К., Носов Г. А., Захаренко В. В., Зиновкина Т. В., Таран А. Л., Костянян А. Е., Айнштейна В. Г. - 8-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 876 с. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-2975-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798655&idb=0>.

14. Корытцева А. К. Химические реакторы. Введение в теорию и практику : учебное пособие / Корытцева А. К., Петьков В. И. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 112 с. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-3501-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798723&idb=0>.

15. Егорова Е. В. Математическое моделирование химико - технологических процессов : учебно-методическое пособие. переизд. и доп. / Егорова Е. В., Закгейм А. Ю. - Москва : РТУ МИРЭА, 2021. - 46 с. - Книга из коллекции РТУ МИРЭА - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=801418&idb=0>.

16. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС / Кузнецова И. М., Харлампики Х. Э., Иванов В. Г., Чиркунов Э. В. - 2-е изд., перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 384 с. - Рекомендовано Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева» в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по химико-технологическим направлениям подготовки и специальностям. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-1479-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799998&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

не используется

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для обучения студентов названной дисциплине имеются в наличии специальный кабинет с необходимым лабораторным оборудованием (148 ауд, 2 корпус). Материально-техническое обеспечение лабораторного практикума – лаборатория химической технологии, оснащенная оборудованием: теплообменниками, насосами, термостатами, электропечами различной конструкции, химическими реакторами, ионообменными и ректификационными колоннами, мембранными фильтрами, а также различным измерительным и аналитическим оборудованием,



персональными компьютерами. Имеется вытяжной шкаф, химическая посуда общего и специального назначения; сушильный шкаф, дистиллятор, технические и аналитические весы.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 04.03.01 - Химия.

Автор(ы): Корытцева Анастасия Константиновна, кандидат химических наук, доцент  
Петьков Владимир Ильич, кандидат химических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Сулейманов Евгений Владимирович, доктор химических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.09.2023 г., протокол № 1.