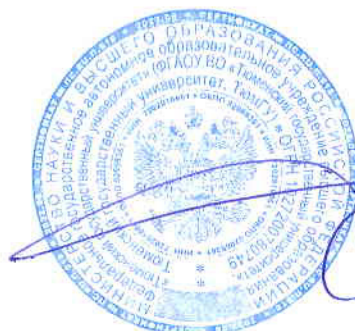


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики

Г.Н. Суворов

« 25 » мая 2026 г.

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности

1.4.12. Нефтехимия (производственная аспирантура)

форма обучения (очная)

Кремлева Т.А. Процессы и аппараты химической технологии. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 1.4.12. Нефтехимия (производственная аспирантура), форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ для научной специальности 1.4.12. «Нефтехимия» утверждены приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 года № 951.

Рабочая программа дисциплины Процессы и аппараты химической технологии опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель: Формирование компетенций для решения научных и прикладных задач в области моделирования, интенсификации и оптимизации процессов переработки углеводородного сырья.

Задачи курса

изучение физико-химических основ нефте- и газохимии, методов расчета и современных тенденций развития оборудования в переработке нефти и углеводородных газов, с акцентом на научно-исследовательскую работу аспиранта и сдачу кандидатского экзамена по специальности.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

ПК-16 - способность организовывать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области нефте- и газохимии с учетом особенностей сырья и применяемых термических / термokatалитических процессов переработки;

ПК-17 - готовность к изучению нефти и углеводородных газов как природных объектов и важнейших источников химического сырья, а также к разработке процессов их превращения в химические продукты и полупродукты, созданию научных основ производства альтернативных видов топлив;

ПК-18 - способность к разработке и теоретическому обоснованию комплексной переработки нефти и природного газа, с учетом конструкций аппаратов нефтепереработки и нефтехимического синтеза, методов их расчёта, а также умение осуществлять научно-исследовательскую деятельность с использованием современных методов и информационно-коммуникационных технологий.

3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		4
Общий объем зач. ед. час	3	3
	108	108
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	22	22
Лекции	12	12
Практические занятия	10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	50	50
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	диф. зачет 36	диф. зачет 36

4. Система оценивания

Система оценивания для дифференцированного зачёта по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» учитывает уровень освоения теоретических знаний, умение применять их на практике, а также навыки анализа и интерпретации данных. Оценка выставляется по пятибалльной шкале («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно») на основе совокупности критериев, которые включают результаты проработки теоретических вопросов, практических заданий и активности в течение семестра. Аспиранты получают баллы за посещение и работу на лекциях, за выполнение

заданий на практических занятиях и сумма полученных за семестр баллов переводится в оценку, по общепринятой шкале: 91 балл и более – оценка «отлично», 76 – 90 баллов – оценка «хорошо», 61 – 75 балл – оценка «удовлетворительно», 60 баллов и менее – оценка «неудовлетворительно». В случае получения за семестр неудовлетворительной оценки аспирант сдает дифференцированный зачет преподавателю в установленные сроки устно, в виде собеседования.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Современная методология анализа технологических процессов	4	2	2	0	0
2.	Гидродинамика многофазных сред в нефтегазохимическом оборудовании	4	2	2	0	0
3.	Тепловые процессы в нефтегазохимии. Энергоэффективность.	4	2	2	0	0
4.	Массообменные процессы глубокой переработки сырья	4	2	2	0	0
5.	Химические реакторы. Каталитические и некаталитические процессы	6	4	2	0	0
6.	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

Планы лекционных занятий

Тема 1. Современная методология анализа технологических процессов (2 часа)

Системный анализ химико-технологических систем (ХТС) нефте- и газохимии. Иерархия моделей: микро-, макро- и мегакинетика. Критерии подобия и масштабный переход. Ограничения при масштабировании (от лаборатории до промышленности). Теория подобия применительно к реакторам с псевдооживленным слоем и колонным аппаратам.

Тема 2. Гидродинамика многофазных сред в нефтегазохимическом оборудовании (2 часа)

Структурированные и неструктурированные насадки. Сравнение эффективности. Гидродинамика барботажных и струйных аппаратов. Режимы течения газ-жидкость, жидкость-жидкость. Особенности движения вязких и аномальных нефтепродуктов. Сепарационные процессы: гравитационная, инерционная, центробежная и коалесцирующая сепарация. Расчет узлов сепарации.

Тема 3. Тепловые процессы в нефтегазохимии. Энергоэффективность (2 часа)

Печи пиролиза, риформинга, нагрева нефти и газа. Расчет радиантной и конвективной камер. Теплообменники нового поколения: спиральные, пластинчатые, оребренные. Тепловая эффективность и загрязнение поверхности. Системы утилизации тепла (WHRU). Моделирование неизотермических реакторов.

Тема 4. Массообменные процессы глубокой переработки сырья (2 часа)

Ректификация: расчет сложных колонн с боковыми отборами (нефть, газоконденсат). Ограничения по эффективности тарелок и насадок. Абсорбция-десорбция: физическая и химическая абсорбция кислых газов (MEA, MDEA). Экстракция: экстракция ароматики (сульфолан), экстрактивная ректификация. Мембранные процессы: разделение газов (H_2/CH_4 , CO_2/CH_4), перапарация для обезвоживания спиртов.

Тема 5. Химические реакторы. Каталитические и некаталитические процессы. (4 часа)

Реакторы каталитического крекинга (FCC), риформинга (платформинга), гидроочистки. Реакторы с неподвижным, кипящим и движущимся слоем катализатора. Проблемы гранулы, теплосъема и проскока. Микро- и миниканальные реакторы для газохимии (GTL). Биореакторы для очистки сточных вод нефтехимии.

Планы практических занятий

Тема 1. Современная методология анализа технологических процессов (2 часа)

Методология масштабирования и критерии подобия.

Цель: научиться обосновывать выбор масштабного перехода от лабораторной установки к пилотной и промышленной.

Разбор статьи из журнала или какой-либо работы по масштабированию колонн.

Практическое упражнение: Дана лабораторная колонна ($D=50$ мм, насадка Рашига) с данными по эффективности. Рассчитать диаметр промышленной колонны при сохранении гидродинамического подобия (по газовой нагрузке, по жидкости). Оценить, почему критерий Рейнольдса не является единственным.

Дискуссия: Какие критерии подобия критичны для трехфазных реакторов (газ-жидкость-твердое) в гидроочистке?

Применение к НИР: Аспирант кратко описывает свой объект - какой параметр наиболее сложно масштабировать?

Тема 2. Гидродинамика многофазных сред в нефтегазохимическом оборудовании (2 часа)

Цель: Сравнительный анализ эффективности контактных устройств.

Мини-лекция с элементами дискуссии: Современные регулярные насадки (Sulzer, Koch-Glitsch, «Звездочка») vs. неупорядоченные. Параметры: удельная поверхность, свободный объем, фактор нагрузки.

Расчетное задание:

Дано: расход пара и жидкости в колонне стабилизации бензина.

Рассчитать точку захлебывания для кольца Палля 25 мм и для регулярной насадки типа Mellapak 250Y. Сравнить рабочую скорость.

Анализ данных: выдаются экспериментальные кривые удерживания жидкости. Построить зависимость ΔP от скорости газа. Определить режим эмульгирования.

Вопрос для размышления: почему в вакуумных колоннах перегонки мазута предпочтительны регулярные насадки с крупным шагом?

Тема 3. Тепловые процессы в нефтегазохимии. Энергоэффективность (2 часа)

Цель: Оценка эффективности и загрязнения теплообменников.

Разбор реальной задачи: Теплообменник «кожухотрубный» (нефть – горячий газойль). Через 6 месяцев эксплуатации упал коэффициент теплопередачи на 30%.

Построить график изменения температуры для чистого и загрязненного аппарата. Рассчитать термическое сопротивление слоя отложений. Предложить два способа интенсификации без замены аппарата.

Мини-исследование: Выданы два варианта обвязки печи и теплообменников (последовательная, параллельная). Рассчитать эксергетический КПД каждого.

Дискуссия: когда целесообразно применять спиральные теплообменники в нефтехимии, а когда пластинчатые? Проблема уплотнений и перепада давления.

Тема 4. Массообменные процессы глубокой переработки сырья (2 часа)

Цель: Расчет колонн с боковыми отборами и анализ ограничений. Практикум в MS Excel или на доске:

Дана упрощенная схема атмосферной колонны: ввод нефти, отбор керосина, дизеля, мазута. Построить диаграммы равновесия для бинарных смесей (октан-декан). Рассчитать минимальное флегмовое число по уравнениям Андервуда (без углубления в матрицы - блок-схема).

Обсудить, почему реальное флегмовое число выше на 20–50%.

Анализ профиля температуры и концентраций: выдаются результаты моделирования в Aspen Plus (или распечатка). Идентифицировать тарелку ввода сырья и зону бокового отбора.

Дискуссия: Ограничения эффективности в вакуумной колонне - гидравлика или коксоотложение?

Тема 5. Химические реакторы. Каталитические и некаталитические процессы. (4 часа)

Цель: Построение и идентификация моделей реактора по опытным данным.

Теория кратко: Ячеечная модель, диффузионная модель, модель с рециркуляцией. Параметры: число ячеек, число Пекле.

Практическое задание: Выдана кривая отклика (экспериментальная С-кривая) для реактора гидроочистки дизеля. Рассчитать среднее время пребывания. Определить дисперсию и число Пекле. Дать заключение: близок ли реактор к идеальному вытеснению?

Применение для каталитических процессов: Реактор каталитического риформинга с движущимся слоем - как изменится модель, если добавить поперечную диффузию?

Образцы средств для проведения текущего контроля

Оценочное средство 1. Устный опрос

Проводится по теоретическому материалу на практических занятиях. Для подготовки необходимо проработать лекцию и прочитать рекомендуемую литературу по теме. Устный опрос может проводиться в форме индивидуального собеседования или собеседования в малых группах по вопросам.

Примерный перечень тем для самостоятельной подготовки

Сравнение эффективности различных типов контактных устройств (ситчатые, клапанные, колпачковые тарелки vs регулярная насадка).

Математическое описание гидродинамики пленочного аппарата.

Анализ аварийных режимов: захлебывание насадочных колонн, помпаж в реакторах.

Обзор промышленных ПО для моделирования ПАХТ (Aspen Plus, HYSYS, ChemCAD, Pro II) - возможности и ограничения.

Интенсификация теплообмена в ребойлерах и конденсаторах нефтехимических производств.

Современные абсорбенты для улавливания CO₂ из дымовых газов.

Оценочное средство 2.

Защита мини-проектов и междисциплинарный коллоквиум

Цель: Апробация применения курса к собственной диссертационной работе.

Формат:

Краткие доклады аспирантов (до 10 минут) по одному из вариантов:

Расчетно-теоретическая работа: расчет конкретного аппарата (с обоснованием выбора методики).

Анализ статьи по своей теме с комментарием применимости моделей из курса.

Постановка CFD- или теплового расчета для своего реактора/колонны.

Оценочное средство 3. Вопросы к подготовке мини-проекта (к зачету)

Принципы масштабирования реактора каталитического риформинга.

Модели структуры потоков (ячеечная, диффузионная, комбинированная) для колонных аппаратов.

Особенности расчета теплообменников для вязких сред (мазут, гудрон).

Влияние распределительных устройств на эффективность массообмена в насадочных колоннах.

Сравнение процессов деметанизации и деэтанзации в газохимии.

Методы интенсификации массообмена в системе газ-жидкость: вибрационные, центробежные аппараты.

CFD-моделирование процесса сепарации капель в циклоне. Постановка граничных условий.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Современная методология анализа технологических процессов	Работа с литературой, источниками, собеседование.
2.	Гидродинамика многофазных сред в нефтегазохимическом оборудовании	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование. Доклад на семинаре
3.	Тепловые процессы в нефтегазохимии. Энергоэффективность.	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование.
4.	Массообменные процессы глубокой переработки сырья	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование. Доклад на семинаре.
5.	Химические реакторы. Каталитические и некаталитические процессы	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование.

Чтение обязательной и дополнительной литературы, предусмотренной рабочей программой дисциплины. Контроль – на практическом занятии в устной или письменной форме при обсуждении теоретических вопросов.

Проработка лекций предполагает присутствие обучаемого на лекционных занятиях и конспектирование материала, подготовка презентаций усвоенного лекционного материала. Контроль – на практическом занятии в устной или письменной форме при обсуждении теоретических вопросов.

Критерии оценки самостоятельной работы аспирантов:

качество освоения учебного материала (умение студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач);

проработанность всех аспектов задания, оформление материала в соответствии с требованиями, соблюдение установленных сроков представления работы на проверку;

степень самостоятельности, творческой активности, инициативности студентов, наличие элементов новизны в процессе выполнения заданий.

Итоги работы аспирантов подводятся во время контрольных недель, сроки которых определяются графиком учебного процесса.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Форма проведения промежуточной аттестации – зачет. Зачет проводится устно в форме собеседования, защиты мини-проекта.

Вопросы для защиты мини-проекта (к зачету)

Аспирант защищает мини-проект, который включает:

- Краткое описание технологической задачи из диссертации.
- Выбор модели процесса / аппарата (с обоснованием).
- Проведенный расчет (или CFD-анализ) основных параметров.
- Сопоставление с литературными данными или заводскими показателями.
- Вывод о применимости и ограничениях модели.

Примерные вопросы к защите:

1. Какое допущение в вашем расчете является наиболее сильным (идеальное смешение, постоянство свойств, равновесная ступень и т.д.)? Как бы вы его проверили экспериментально?
2. Почему вы выбрали именно эту корреляцию для расчета коэффициента массопередачи, а не другую (например, Onda vs. Bravo-Fair)?
3. Если бы вы повторяли расчет с условием, что вязкость жидкости на 30% выше, какие параметры изменились бы сильнее всего?
4. Каким образом ваш результат (например, оптимальное флегмовое число) зависит от точности исходных данных по равновесию фаз? Оцените чувствительность.
5. Предложите упрощенный эксперимент на лабораторной установке, который подтвердил бы ключевой результат вашего проекта.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература:

Технология переработки углеводородных газов : учебник для вузов / В. С. Арутюнов, И. А. Голубева, О. Л. Елисеев, Ф. Г. Жагфаров. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 723 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12398-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/542503> (дата обращения: 15.05.2026).

8.2. Дополнительная литература:

Современные химические технологии: процессы основного органического синтеза : учебник для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян, Л. С. Сорока [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 584 с. — ISBN 978-5-507-54561-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/517176> (дата обращения: 15.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8.3. Интернет-ресурсы:

<http://www.nglib.ru/index.jsp> - портал научно-технической информации «Нефть и газ»

2. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - научная электронная библиотека,
3. <http://www.twirpx.com/> - информационно-технический сайт «Все для студента»
4. <http://window.edu.ru/>
5. Oil Gas Journal - www.ogj.com
6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" – Информационный портал "Студенту вуза" – <http://studentu-vuza.ru/>;
7. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление - www.geoinform.ru
8. Нефтегазовая вертикаль - www.ngv.ru
9. Нефть и капитал - www.oilcapital.ru
10. Нефть России. Oil of Russia - www.press.lukoil.ru
11. Нефтяное хозяйство - www.oil-industry.ru

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости):

Лицензионное ПО:

ПО, находящееся в свободном доступе:

пакеты для кинетического моделирования (ChemKin, Aspen Plus);
базы данных по свойствам углеводородов (NIST, PetroData).

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- Работа с Интернетом
- Работа с информационным порталом МБК ТюмГУ

Учебные аудитории, оснащенные мультимедийным оборудованием, с возможностью демонстрации видео, с выходом в Интернет, позволяющие работать в дистанционном режиме.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Регулярное чтение выпусков научных обзорных журналов по нефтехимии (Нефтехимия, Вестник Омского университета, Вестник Томского университета, Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, Известия РАН. Серия химическая, Экологическая химия, «Теоретические основы химической технологии» (РАН), «Химическое и нефтегазовое машиностроение», «Chemical Engineering Science», «Industrial & Engineering Chemistry Research»).