

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

М.В. Миронова

« 11 » 06 2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ХИМИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Модуль Интеллектуальные системы и цифровизация в химико-технологических процессах	Код модуля М.1.21
Образовательная программа Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов	Код ОП 18.03.0/44.04
Направление подготовки Химическая технология	Код направления и уровня подготовки 18.03.01

Нижний Тагил, 2026

Программа модуля и программ дисциплин составлены авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1.	Сидоров Олег Юрьевич	доктор техн., наук, профессор	профессор	Департамент Естественно-научного образования

Руководитель модуля
«согласовано в электронном виде»

О.Ю. Сидоров

Рекомендовано:

Учебно-методическим советом НТИ (филиал) УрФУ

Председатель учебно-методического совета
«согласовано в электронном виде»

М.В. Миронова

Протокол № 5 от 11.06.2026 г.

Согласовано:

Руководитель ОП
«согласовано в электронном виде»

О.Ю. Сидоров

И.о. начальника ОООД
«согласовано в электронном виде»

Л.Ю. Лунькова

Инженер (ведущий) РИОЦ
«согласовано в электронном виде»

А.В. Катаева

Раздел 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

Интеллектуальные системы и цифровизация в химико-технологических процессах

1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль формирует цифровые компетенции инженера-технолога, необходимые для работы в условиях цифровой трансформации промышленности. Изучаются автоматизированные системы управления, математические методы моделирования, цифровые двойники, методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения, технологии работы с большими данными и промышленной аналитикой. Модуль обеспечивает подготовку к созданию и сопровождению цифровых решений для оптимизации технологических процессов.

1.2. Структура и объем модуля

№ п/п	Перечень дисциплин модуля	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах и часах	Форма итоговой промежуточной аттестации по дисциплинам модуля и в целом по модулю
1.	Автоматизированные системы управления технологическими процессами	4 / 144	зачет
2.	Анализ больших данных и промышленная аналитика	4 / 144	экзамен
3.	Введение в цифровую трансформацию химического производства	4 / 144	зачет
4.	Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение	8 / 288	экзамен, зачет
5.	Математические методы и модели в химической технологии	4 / 144	экзамен
6.	Процессная симуляция и оптимизация химико-технологических систем	4 / 144	зачет
7.	Цифровые двойники в химической технологии	4 / 144	зачет
ИТОГО по модулю:		32 / 1152	не предусмотрено

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Информационные технологии и программирование (М.1.11) (программирование); Математический модуль (М.1.8) (теория вероятностей, математика); Теоретические основы технологий с
---------------------	--

	участием природных энергоносителей (М.1.19) (для моделирования процессов).
Постреквизиты модуля	Государственная итоговая аттестация (М.3.1) (цифровые разделы ВКР); Практика (М.2.1) (применение цифровых инструментов).
Кореквизиты модуля	Теоретические основы технологий с участием природных энергоносителей (М.1.19) – в 6–7; Практические основы технологий с участием природных энергоносителей (М.1.20) – в 8–9 (интеграция с проектированием).

1.4.Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Изучение дисциплин модуля предусматривает формирование компетенций посредством последовательного освоения результатов обучения на определенном уровне сложности содержания.

Результаты обучения по дисциплине – это конкретные знания, умения, опыт и другие результаты (содержательные компоненты компетенций), которых планируется достичь на этапе изучения дисциплины модуля и которые должны будут продемонстрированы обучающимися и оценены преподавателем по индикаторам/измеряемым критериям, включенным в формулировку результатов обучения.

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины.

Индикаторы учитываются при выборе и составлении заданий контрольно-оценочных мероприятий (оценочных средств) текущей и промежуточной аттестации.

Распределение компетенций по дисциплинам модуля приведены ниже в рабочих программах дисциплин модуля.

1.5.Форма обучения

Реализация модуля предусмотрена для обучающихся по очно-заочной форме.

РАЗДЕЛ 2. ПРОГРАММЫ МОДУЛЯ

Интеллектуальные системы и цифровизация в химико-технологических процессах

2.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

2.1.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

2.1.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.1.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-3. Способен осуществлять метрологический контроль, разрабатывать нормативно-техническую документацию и проводить экспертизу соответствия продукции и процессов требованиям стандартов и технических регламентов.	Знания: – основы метрологии, стандартизации и сертификации; – требования технических регламентов и государственных стандартов к продукции и технологическим процессам (в области переработки топлива, углеродных материалов, полимеров); Умения: – выбирать и обосновывать методы и средства контроля для конкретных показателей качества; – разрабатывать программы испытаний и методики измерений; – анализировать результаты метрологического контроля и оформлять заключения; Практический опыт, владение: – работа с измерительным оборудованием в лабораторных и производственных условиях; – ведение учётной и отчётной документации по контролю качества; – участие в разработке и согласовании технических условий на продукцию; – выполнение расчётов погрешностей и оценка достоверности результатов измерений.
ПК-5. Способен обеспечивать эффективную и безопасную эксплуатацию химико-технологических	Знания: -Физико-химические и технологические закономерности основных процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.

процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов, проводить анализ и оптимизацию режимов с учётом экологических ограничений, энергоэффективности и требований промышленной безопасности.	-Методы контроля технологических параметров, устройство и принципы работы контрольно-измерительных приборов и систем автоматизации, включая современные датчики и анализаторы. -Нормативные требования по промышленной безопасности и охране труда, экологические ограничения и методы их соблюдения, принципы энергосбережения и энергоэффективности. Основы технико-экономического анализа производств и оценки влияния технологических решений на окружающую среду. Умения: -Анализировать данные с датчиков и систем автоматизации для оценки текущего технологического режима, выявлять отклонения от регламента и оперативно корректировать параметры. -Проводить расчёты материальных и тепловых балансов для диагностики работы установок, разрабатывать рекомендации по оптимизации режимов с целью повышения выхода целевых продуктов, снижения энергозатрат и уменьшения выбросов. -Оценивать экологические и экономические последствия принимаемых решений, разрабатывать мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду и повышению энергоэффективности. -Разрабатывать технологические инструкции и регламенты, участвовать в пусконаладочных работах, настройке и испытаниях оборудования. Практический опыт, владение: -Мониторинг технологических параметров с использованием штатных измерительных систем, ведение сменного журнала, оперативное управление процессом в штатных и нештатных ситуациях. -Участие в пусконаладочных работах, выявление и устранение неполадок оборудования, применение методик анализа нештатных ситуаций. -Работа с нормативной и эксплуатационной документацией, участие в разработке технических условий на продукцию и экологической отчётности.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические,

	машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	--

2.1.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Основные понятия ТАУ	Назначение систем автоматического управления (САУ); задачи, решаемые САУ. Классификация САУ. Принципы управления. Элементы САУ. Примеры САУ и их элементов.
P2	Основные характеристики линейных непрерывных систем	Математическое описание САУ. Линеаризация, преобразование Лапласа, передаточные функции. Типовые сигналы и характеристики: временные характеристики, частотные характеристики. Определение частотных характеристик по передаточной функции динамического звена в линейных САУ. Структурные схемы: соединения динамических звеньев (последовательное,

		параллельное, с обратными связями); типы обратных связей; правила преобразования структурных схем.
P3	Типовые динамические звенья САУ	Классификация типовых динамических звеньев. Свойства и характеристики типовых динамических звеньев.
P4	Проверка устойчивости линейных непрерывных САУ	Общие сведения об устойчивости САУ. Условия устойчивости, критерии устойчивости: Гурвица, Михайлова, Найквиста. Определение запасов устойчивости.
P5	Оценка качества регулирования	Статическая точность, статические и астатические САУ, порядок астатизма САУ, коэффициенты ошибок. Частотные показатели качества, интегральные показатели качества.
P6	Повышение качества регулирования	Использование корректирующих устройств, чувствительность САУ к вариациям параметров, управляемость и наблюдаемость САУ.
P7	Методы синтеза САУ	Метод ЛЧХ (логарифмических частотных характеристик). Корневой метод.
P8	Проектирование АСУ ТП на промышленном предприятии	Основные этапы жизненного цикла АСУ ТП: предпроектное обследование, разработка технического задания, эскизное и техническое проектирование, рабочая документация, ввод в эксплуатацию. Выбор архитектуры АСУ ТП (распределённая, централизованная, гибридная). Обоснование выбора программируемых логических контроллеров (ПЛК), датчиков и исполнительных механизмов с учётом агрессивных сред, взрывоопасности и требований промышленной безопасности. Разработка алгоритмов управления типовыми процессами (нагрев, смешение, ректификация, дозирование, прокатка и др.). Программирование ПЛК на языках стандарта МЭК 61131-3. SCADA-системы: выбор, разработка человеко-машинного интерфейса (HMI), визуализация, архивирование данных, тревожная сигнализация. Интеграция АСУ ТП с верхним уровнем (MES, ERP). Пусконаладочные работы, комплексное опробование, приёмочные испытания. Эксплуатация, техническое обслуживание, модернизация АСУ ТП. Особенности проектирования для опасных производственных объектов.

2.1.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.1.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

Электронные ресурсы (издания)

1. Сидоров О.Ю. Лабораторные занятия по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» : Методические указания к лабораторным работам по курсу «Системы управления химико-технологическими процессами». [Электронный ресурс]. Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2019. – 30 с. №15-02/18201-17
2. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами : учебное пособие : в 2 частях / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков ; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. Ч. 2. – 200 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=255899> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-00032-044-0. – Текст : электронный.
3. Федоров, А. Ф. Системы управления химико-технологическими процессами : учебное пособие / А. Ф. Федоров, Е. А. Кузьменко ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 224 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442092> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4387-0552-9. – Текст : электронный.

Печатные издания

1. Теория систем автоматического управления [Текст] / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Профессия, 2004. – 752 с.
2. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 2005. – 567 с.
3. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: учебное пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). Кафедра промышленной электроники (ПРЭ). – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. – 163 с.
4. Лебедев К.Н. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: Учебное пособие/ К.Н. Лебедев. – зерноград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 117 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (<http://nti.urfu.ru>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.1.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ

ПРОЦЕССАМИ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций

			обеспечения	
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Система видеоконференций
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового проектирования	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется

2.2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ больших данных и промышленная аналитика

2.2.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ больших данных и промышленная аналитика

2.2.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.2.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-2. Способен осуществлять метрологический контроль качества сырья, полупродуктов и готовой продукции, а также проводить анализ и оптимизацию технологических параметров процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов с использованием современных физико-химических методов анализа и теплотехнических расчетов.	Знания: -Теоретические основы химических, физико-химических и инструментальных методов анализа, применяемых для контроля состава и свойств природных энергоносителей и углеродных материалов. -Принципы работы и метрологические характеристики современного аналитического оборудования и методы обработки результатов измерений. -Физико-химические основы термодинамических процессов и теплотехнических расчётов (законы термодинамики, тепловые балансы, термодинамические циклы), необходимые для оценки энергоэффективности и оптимизации режимов переработки углеводородного сырья. Умения: -Выбирать и обосновывать методы анализа для контроля качества твердых, жидких и газообразных проб на всех стадиях технологического процесса. -Обрабатывать экспериментальные данные с применением статистических методов и интерпретировать результаты анализа для оценки соответствия продукции требованиям нормативной документации. -Применять законы термодинамики для расчёта параметров технологических процессов (тепловые эффекты, работа расширения/сжатия, КПД циклов) и на основе полученных данных разрабатывать рекомендации по корректировке режимов работы оборудования с целью повышения эффективности и промышленной безопасности. Практический опыт, владение -Владение методиками проведения количественного и качественного анализа проб с применением химических и физико-химических методов. -Опыт работы с метрологическим оборудованием и

	составления первичной документации по результатам контроля. -Навыки выполнения теплотехнических расчётов и использования их результатов для оценки энергетической эффективности и выбора оптимальных технологических режимов на стадиях подготовки и переработки природных энергоносителей.
ПК-3. Способен осуществлять метрологический контроль, разрабатывать нормативно-техническую документацию и проводить экспертизу соответствия продукции и процессов требованиям стандартов и технических регламентов.	Знания: – основы метрологии, стандартизации и сертификации; – требования технических регламентов и государственных стандартов к продукции и технологическим процессам (в области переработки топлива, углеродных материалов, полимеров); Умения: – выбирать и обосновывать методы и средства контроля для конкретных показателей качества; – разрабатывать программы испытаний и методики измерений; – анализировать результаты метрологического контроля и оформлять заключения; Практический опыт, владение: – работа с измерительным оборудованием в лабораторных и производственных условиях; – ведение учётной и отчётной документации по контролю качества; – участие в разработке и согласовании технических условий на продукцию; – выполнение расчётов погрешностей и оценка достоверности результатов измерений.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений.

	-Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	---

2.2.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание*
P1	Введение в промышленные большие данные и статистическую аналитику	Понятие больших данных (Big Data). Источники промышленных данных: датчики, SCADA-системы, лабораторные анализы, журналы оборудования. Характеристики данных: объём, скорость, разнообразие, достоверность. Роль статистики в обработке больших данных. Обзор жизненного цикла анализа данных: сбор → анализ → моделирование → валидация → внедрение.
P2	Предобработка и разведочный анализ данных	Этапы предобработки: очистка (пропуски, выбросы, дубликаты), преобразование (нормализация, стандартизация, логарифмирование). Исследовательский анализ: описательная статистика (среднее, медиана, дисперсия, квантили, асимметрия, эксцесс). Визуализация распределений. Проверка нормальности (тест Колмогорова-Смирнова).
P3	Статистические методы проверки гипотез	Основные понятия проверки гипотез: нулевая и альтернативная гипотезы, уровень значимости, мощность критерия. Параметрические тесты.

		Непараметрические тесты. Применение к промышленным данным: сравнение производительности оборудования, влияния режимных параметров. Проверка гипотезы о законе распределения.
P4	Регрессионный анализ	Простая и множественная линейная регрессия. Оценка параметров методом наименьших квадратов. Оценка качества модели: коэффициент детерминации R^2 , скорректированный R^2 , F-тест, t-статистики, анализ остатков (гомоскедастичность, нормальность, независимость). Выбор переменных: пошаговые методы. Нелинейная регрессия и полиномиальная аппроксимация. Применение: прогнозирование выхода продукта от параметров процесса.
P5	Дисперсионный анализ и многомерные методы	Однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ с повторными измерениями. Многомерные методы снижения размерности: метод главных компонент (ГК) – теория и интерпретация. Факторный анализ. Применение ГК для визуализации многомерных данных и обнаружения аномалий в химико-технологических процессах.
P6	Контрольные карты	Виды контрольных карт. Карты среднего и размаха. Анализ и интерпретация контрольных карт. Выявление паттернов. Пример решения задачи на построение контрольных карт Шухарта. Приемочные контрольные карты. Алгоритм картирования потока создания ценности.

2.2.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.2.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ПРОМЫШЛЕННАЯ АНАЛИТИКА

Электронные ресурсы (издания)

1. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.
2. Дэйвис О.Л., Джонсон Н.Л., Ли Д.А., Миллер И.И. и др. Статистические методы исследования в химической технологии. – М. : Мир, 1976. – 352 с.
3. Дуглас Монтгомери (Douglas C. Montgomery). Введение в статистическое управление качеством. – М. : Вильямс, 2007. – 656 с.

Печатные издания

Не используются.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБ «Электронная библиотека НТИ» (<http://nti.urfu.ru>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

1. 2.2.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ больших данных и промышленная аналитика

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования:	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций

			ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Система видеоконференций
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового проектирования	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная	Учебная аудитория для проведения	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством	Не требуется

	аттестация	текущего контроля и промежуточной аттестации	студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	
--	------------	---	--	--

2.3. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в цифровую трансформацию химического производства

2.3.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в цифровую трансформацию химического производства

2.3.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.3.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.	Знания: – теоретические основы химической термодинамики и кинетики; – строение атома и молекулы, природа химической связи и её влияние на свойства веществ; – классификацию и номенклатуру органических и неорганических соединений. основные типы реакционных механизмов и методы идентификации веществ. Умения: – классифицировать химические объекты по строению и свойствам, прогнозировать их реакционную способность и поведение в различных условиях; – обосновывать выбор оптимальных условий проведения реакций для достижения максимальной селективности и выхода целевого продукта. интерпретировать результаты химических анализов и спектральных данных для установления строения и состава веществ. Практический опыт, владение – планирование и проведение химического эксперимента с использованием лабораторного оборудования и соблюдением правил безопасности. – применение аналитических методов для количественного и качественного анализа; построение кинетических кривых и расчётом термодинамических функций.
ПК-3. Способен осуществлять метрологический контроль, разрабатывать нормативно-техническую документацию и проводить экспертизу соответствия продукции и процессов требованиям	Знания: – основы метрологии, стандартизации и сертификации; – требования технических регламентов и государственных стандартов к продукции и технологическим процессам (в области переработки топлива, углеродных материалов, полимеров); Умения: – выбирать и обосновывать методы и средства контроля

стандартов и технических регламентов.	для конкретных показателей качества; – разрабатывать программы испытаний и методики измерений; – анализировать результаты метрологического контроля и оформлять заключения; Практический опыт, владение: – работа с измерительным оборудованием в лабораторных и производственных условиях; – ведение учётной и отчётной документации по контролю качества; – участие в разработке и согласовании технических условий на продукцию; – выполнение расчётов погрешностей и оценка достоверности результатов измерений.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических

	параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	--

2.3.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание
P1	Введение в цифровую трансформацию химической промышленности	Понятие цифровой трансформации. Основные цели и задачи цифровизации химической отрасли. Предпосылки и движущие силы цифровой трансформации: Индустрия 4.0, новые материалы, глобальная конкуренция. Текущее состояние цифровизации химической промышленности в России и мире: уровень внедрения цифровых технологий, ключевые тренды. Экономические эффекты цифровой трансформации: повышение производительности, снижение рисков, минимизация затрат. Цифровая зрелость предприятий.
P2	Архитектура цифрового химического производства	Понятие цифрового производственного предприятия. Информационная платформа предприятия. Уровни автоматизации: полевой уровень (датчики, исполнительные механизмы), уровень управления (PLC, SCADA), уровень производства (MES), уровень предприятия (ERP). Интеграция информационных и операционных технологий (IT/OT). Промышленный интернет вещей (IIoT) как основа сбора данных. Облачные и периферийные вычисления (Edge Computing) в химическом производстве. Кибербезопасность цифровых производств
P3	Цифровые двойники в химической технологии	Понятие и классификация цифровых двойников (прототип, экземпляр, агрегат). Отличие цифрового двойника от цифровой модели и цифровой тени. Роль цифровых двойников в управлении жизненным циклом химико-технологического оборудования. Применение цифровых двойников для оптимизации

		технологических режимов, прогнозирования отказов, обучения персонала. Примеры реализации цифровых двойников в химической и нефтегазовой промышленности
P4	Искусственный интеллект и машинное обучение в химическом производстве	Основы искусственного интеллекта и машинного обучения. Применение ИИ в химической технологии: оптимизация процессов, прогнозирование свойств продуктов, обнаружение аномалий. Машинное обучение для анализа промышленных данных. Нейросетевые подходы в химической технологии. Предиктивная аналитика для прогнозирования отказов оборудования. Системы поддержки принятия решений на основе ИИ. Примеры внедрения ИИ на химических предприятиях
P5	Инструменты цифрового проектирования и моделирования	Системы автоматизированного проектирования (CAD) – создание 3D-моделей оборудования и технологических схем. Системы инженерного анализа (CAE) – математическое моделирование физико-механических процессов. Системы технологической подготовки производства (CAM) – разработка управляющих программ. PLM-системы – управление жизненным циклом изделия. SPDM-системы – управление данными и процессами моделирования. Интеграция инструментов в единую цифровую среду. Обзор программных продуктов
P6	Практика внедрения цифровых технологий	Барьеры внедрения цифровых решений в химической промышленности: безопасность, кадры, экономика. Организационные и культурные аспекты цифровой трансформации. Подготовка кадров для цифровой химической промышленности. Оценка экономической эффективности цифровых проектов. Промышленные тренажеры и виртуальная/дополненная реальность для обучения персонала. Отечественные и зарубежные кейсы внедрения цифровых технологий на химических предприятиях

2.3.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Электронные ресурсы (издания)

1. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Щербина Л.А. и др. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности : монография / под ред. А.И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.
2. Дмитриев В.М., Гембух Л.А., Сахабутдинов А.Е. Цифровые двойники : учебное пособие. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 88 с.

Печатные издания

Не используются.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (nti.urfu.ru)

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.3.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций

			оборудованием) проекторного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекторный экран/доска.	
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекторного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекторный экран/доска. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Система видеоконференций
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление

		работы обучающихся и курсового проектирования	преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется

2.4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение

2.4.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение

2.4.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.4.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.	Знания: –теоретические основы химической термодинамики и кинетики; –строение атома и молекулы, природа химической связи и её влияние на свойства веществ; –классификацию и номенклатуру органических и неорганических соединений. основные типы реакционных механизмов и методы идентификации веществ. Умения: –классифицировать химические объекты по строению и свойствам, прогнозировать их реакционную способность и поведение в различных условиях; –обосновывать выбор оптимальных условий проведения реакций для достижения максимальной селективности и выхода целевого продукта. интерпретировать результаты химических анализов и спектральных данных для установления строения и состава веществ. Практический опыт, владение –планирование и проведение химического эксперимента с использованием лабораторного оборудования и соблюдением правил безопасности. –применение аналитических методов для количественного и качественного анализа; построение кинетических кривых и расчётом термодинамических функций.
ПК-2. Способен осуществлять метрологический контроль качества сырья, полупродуктов и готовой продукции, а также проводить анализ и	Знания: -Теоретические основы химических, физико-химических и инструментальных методов анализа, применяемых для контроля состава и свойств природных энергоносителей и углеродных материалов. -Принципы работы и метрологические характеристики современного аналитического оборудования и методы

оптимизацию технологических параметров процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов с использованием современных физико-химических методов анализа и теплотехнических расчетов.	обработки результатов измерений. -Физико-химические основы термодинамических процессов и теплотехнических расчётов (законы термодинамики, тепловые балансы, термодинамические циклы), необходимые для оценки энергоэффективности и оптимизации режимов переработки углеводородного сырья. Умения: -Выбирать и обосновывать методы анализа для контроля качества твердых, жидких и газообразных проб на всех стадиях технологического процесса. -Обрабатывать экспериментальные данные с применением статистических методов и интерпретировать результаты анализа для оценки соответствия продукции требованиям нормативной документации. -Применять законы термодинамики для расчёта параметров технологических процессов (тепловые эффекты, работа расширения/сжатия, КПД циклов) и на основе полученных данных разрабатывать рекомендации по корректировке режимов работы оборудования с целью повышения эффективности и промышленной безопасности. Практический опыт, владение -Владение методиками проведения количественного и качественного анализа проб с применением химических и физико-химических методов. -Опыт работы с метрологическим оборудованием и составления первичной документации по результатам контроля. -Навыки выполнения теплотехнических расчётов и использования их результатов для оценки энергетической эффективности и выбора оптимальных технологических режимов на стадиях подготовки и переработки природных энергоносителей.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию

	режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	--

2.4.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Введение в интеллектуальный анализ данных и машинное обучение	Понятие интеллектуального анализа данных (Data Mining). Место машинного обучения в системе искусственного интеллекта. История развития: от первых моделей до глубокого обучения. Типы задач ML: обучение с учителем (регрессия, классификация), обучение без учителя (кластеризация, снижение размерности), обучение с подкреплением. Основные понятия: модель, функция потерь, обучающая/валидационная/тестовая выборки, признаки и целевая переменная, переобучение и недообучение. Обзор современного инструментария: Python, Jupyter Notebook, библиотеки (NumPy, Pandas, Matplotlib, Scikit-learn, PyTorch, TensorFlow).
P2	Математические основы машинного обучения	Линейная алгебра: векторы, матрицы, операции, собственные значения и векторы. Дифференциальное исчисление: градиент,

		производная по направлению, частные производные, цепное правило. Теория вероятностей и статистика: распределения случайных величин, условная вероятность, байесовский вывод, оценка максимального правдоподобия (MLE). Метрики и нормы. Предобработка данных: нормализация, стандартизация, кодирование категориальных признаков, работа с пропусками и выбросами. Разведочный анализ данных (EDA) и визуализация.
P3	Классические методы машинного обучения	Регрессия: линейная регрессия, аналитическое решение (нормальное уравнение), множественная регрессия, полиномиальная регрессия. Классификация: логистическая регрессия, сигмоидная функция, бинарная и многоклассовая классификация, Softmax. Метод опорных векторов (SVM): разделяющая гиперплоскость, ядра. Деревья решений и ансамблевые методы: деревья классификации и регрессии, случайный лес, градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM, CatBoost). Методы кластеризации: K-средних, иерархическая кластеризация, DBSCAN. Методы снижения размерности: главные компоненты (PCA), t-SNE, UMAP. Оценка качества моделей: метрики регрессии (MAE, MSE, RMSE, R^2) и классификации (Accuracy, Precision, Recall, F1, AUC-ROC). Кросс-валидация.
P4	Введение в нейронные сети	Биологический нейрон и его математическая модель. Искусственный нейрон: структура, функция активации (сигмоид, гиперболический тангенс, ReLU, Leaky ReLU, Swish, GELU). Однослойный перцептрон и его ограничения. Многослойный перцептрон (MLP) – полносвязная нейронная сеть. Универсальная теорема аппроксимации. Выбор архитектуры: количество слоёв и нейронов. Прямое распространение (Forward Pass). Функции потерь для нейронных сетей: MSE, Binary Cross-Entropy, Categorical Cross-Entropy.
P5	Обучение нейронных сетей	Обратное распространение ошибки (Backpropagation): вывод алгоритма через цепное правило, вычисление градиентов. Оптимизаторы: пакетный градиентный спуск (BGD), стохастический градиентный спуск (SGD), мини-пакетный градиентный спуск (MBGD). Инерционные методы: Momentum, Nesterov Accelerated Gradient (NAG). Адаптивные методы: Adagrad, RMSProp, Adam, AdamW. Выбор скорости обучения (learning rate), планировщики скорости. Проблемы обучения: исчезающий и взрывающийся градиент,

		седловые точки, локальные минимумы. Инициализация весов (Xavier, He). Нормализация данных (Batch Normalization, Layer Normalization). Борьба с переобучением и регуляризация
P6	Свёрточные нейронные сети (CNN)	Принципы свёрточных сетей: операция свёртки, ядра (фильтры), карты признаков. Слой подвыборки (Pooling): MaxPooling, AveragePooling. Архитектуры CNN: LeNet, AlexNet, VGG, ResNet (остаточные связи), Inception, DenseNet. Транспонированная свёртка (Deconvolution). Применение CNN: классификация изображений, обнаружение объектов, сегментация. Использование предобученных моделей (Transfer Learning, Fine-Tuning). Применение в химической технологии: анализ микроструктур материалов, распознавание дефектов оборудования, обработка данных спектроскопии и микроскопии.
P7	Рекуррентные нейронные сети (RNN) и работа с последовательностями	Принципы рекуррентных сетей: развёртывание во времени, общие веса. Проблемы обучения RNN: исчезающий и взрывающийся градиент. Долгая краткосрочная память (LSTM): архитектура, входной, забывающий и выходной вентили. Управляемый рекуррентный блок (GRU). Двухнаправленные RNN (BiRNN). Применение: обработка естественного языка, прогнозирование временных рядов, анализ последовательных данных в химической технологии (динамика процессов, данные с датчиков во времени).
P8	Трансформеры и механизм внимания	Механизм внимания (Attention): суть, вычисление весов, Self-Attention, Multi-Head Attention. Архитектура трансформера: кодировщик и декодировщик, позиционное кодирование. Модели на основе трансформеров: BERT, GPT, T5. Применение в химии: анализ химической литературы, прогнозирование свойств по SMILES-представлениям, молекулярный дизайн.
P9	Автоэнкодеры и генеративные модели	Автоэнкодеры: структура (кодировщик, узкое место, декодировщик), применение для снижения размерности, шумоподавления, поиска аномалий. Вариационные автоэнкодеры (VAE). Генеративно-состязательные сети (GAN): генератор и дискриминатор, обучение, режим коллапса. Применение: генерация молекулярных структур, дизайн материалов с заданными свойствами.
P10	Применение нейросетевых технологий в химической технологии	Особенности химико-технологических данных: многомерность, коррелированность, временная зависимость, наличие физических ограничений. Применение нейросетевых методов: прогнозирование свойств веществ (температуры кипения, растворимости, вязкости, теплопроводности); оптимизация технологических режимов (выход продукта,

		энергопотребление); контроль качества продукции (классификация по показателям качества, обнаружение аномалий); предиктивное обслуживание оборудования (прогнозирование отказов по данным с датчиков, анализ вибрации). Моделирование качества кокса: Выбор исходных данных. Обучение искусственной нейронной сети. Прогнозирование качества кокса. Анализ точности результатов.
P11	Интерпретируемость и объяснимость моделей	Проблема «чёрного ящика» в глубоком обучении. Методы интерпретации: важность признаков, SHAP-значения, LIME. Визуализация активаций свёрточных сетей (CAM, Grad-CAM). Интерпретация LSTM и трансформеров (внимание). Доверительные интервалы и оценка неопределённости.
P12	Развёртывание моделей	Жизненный цикл моделей машинного обучения. Экспорт обученных моделей (ONNX, TorchScript, TensorFlow SavedModel). Развёртывание в промышленной среде: микросервисная архитектура, REST API, Docker, Kubernetes. Мониторинг моделей в эксплуатации (дрейф данных и концептуальный дрейф).

2.4.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.4.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение

Электронные ресурсы (издания)

- 1.Сергеев, Н.Е. Системы искусственного интеллекта : учебное пособие / Н.Е. Сергеев ; Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия. – Таганрог : Южный федеральный университет, 2016. – Ч. 1. – 123 с. : схем., ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493307> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9275-2113-5. – Текст : электронный.
- 2.Ясницкий, Л. Н. Интеллектуальные системы : учебник / Л. Н. Ясницкий. – 2-е изд. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 224 с. : ил., табл., схем. – (Учебник для высшей школы). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=712949> – Библиогр.: с. 209-216. – ISBN 978-5-00101-897-1. – Текст : электронный.
- 3.Построение искусственной нейронной сети. Рекуррентные сети. Сети обратного распространения. Приложения : учебно-методическое пособие / авт.-сост.: О. Ю. Сидоров, В. В. Потанин ; М-во науки и высш. образования РФ ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2022. – 70 с. ISBN 978-5-9544-0126-4.
- 4.Якубик, Д. Г. Химическая информатика : учебное пособие : [16+] / Д. Г. Якубик ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2021. – 79 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. –

URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=685067> – Библиогр.: с. 76. – ISBN 978-5-8353-2734-8. – Текст : электронный.

5. Фарунцев, С. Д. Интеллектуальные технологии управления в технических системах : учебное пособие : [16+] / С. Д. Фарунцев ; Омский государственный технический университет. – Омск : Омский государственный технический университет (ОмГТУ), 2019. – 104 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=682099> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8149-2900-6. – Текст : электронный.
6. Рашка С., Мирджалили В. Python и машинное обучение. – М. : ДМК Пресс, 2023. – 540 с.
7. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. – СПб. : Питер, 2018. – 480 с.

Печатные издания

Не используются

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (<http://nti.urfu.ru>).

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

Python (Anaconda Distribution) с библиотеками: NumPy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn, PyTorch, TensorFlow/Keras, Jupyter Notebook.

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.4.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п/п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная	Мебель аудиторная с	Microsoft Windows,

		аудитория для проведения лекционных занятий	количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.	Microsoft Office, Система видеоконференций
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в	Система видеоконференций

			электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового проектирования	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется

2.5. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математические методы и модели в химической технологии

2.5.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Математические методы и модели в химической технологии

2.5.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.5.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.	Знания: –теоретические основы химической термодинамики и кинетики; –строение атома и молекулы, природа химической связи и её влияние на свойства веществ; –классификацию и номенклатуру органических и неорганических соединений. основные типы реакционных механизмов и методы идентификации веществ. Умения: –классифицировать химические объекты по строению и свойствам, прогнозировать их реакционную способность и поведение в различных условиях; –обосновывать выбор оптимальных условий проведения реакций для достижения максимальной селективности и выхода целевого продукта. интерпретировать результаты химических анализов и спектральных данных для установления строения и состава веществ. Практический опыт, владение –планирование и проведение химического эксперимента с использованием лабораторного оборудования и соблюдением правил безопасности. –применение аналитических методов для количественного и качественного анализа; построение кинетических кривых и расчётом термодинамических функций.
ПК-2. Способен осуществлять метрологический контроль качества сырья, полупродуктов и готовой продукции, а также проводить анализ и оптимизацию	Знания: -Теоретические основы химических, физико-химических и инструментальных методов анализа, применяемых для контроля состава и свойств природных энергоносителей и углеродных материалов. -Принципы работы и метрологические характеристики современного аналитического оборудования и методы обработки результатов измерений.

технологических параметров процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов с использованием современных физико-химических методов анализа и теплотехнических расчетов.	-Физико-химические основы термодинамических процессов и теплотехнических расчётов (законы термодинамики, тепловые балансы, термодинамические циклы), необходимые для оценки энергоэффективности и оптимизации режимов переработки углеводородного сырья. Умения: -Выбирать и обосновывать методы анализа для контроля качества твердых, жидких и газообразных проб на всех стадиях технологического процесса. -Обрабатывать экспериментальные данные с применением статистических методов и интерпретировать результаты анализа для оценки соответствия продукции требованиям нормативной документации. -Применять законы термодинамики для расчёта параметров технологических процессов (тепловые эффекты, работа расширения/сжатия, КПД циклов) и на основе полученных данных разрабатывать рекомендации по корректировке режимов работы оборудования с целью повышения эффективности и промышленной безопасности. Практический опыт, владение -Владение методиками проведения количественного и качественного анализа проб с применением химических и физико-химических методов. -Опыт работы с метрологическим оборудованием и составления первичной документации по результатам контроля. -Навыки выполнения теплотехнических расчётов и использования их результатов для оценки энергетической эффективности и выбора оптимальных технологических режимов на стадиях подготовки и переработки природных энергоносителей.
ПК-4. Способен выполнять технологические расчёты (материальные, тепловые, гидравлические, кинетические) и проектировать типовые аппараты, реакторы и установки переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов, включая использование методов математического моделирования и цифровых инструментов.	Знания: -Методы расчёта материальных и тепловых балансов для стационарных и нестационарных режимов, гидравлические расчёты трубопроводов и аппаратов. -Основы химической кинетики и термодинамики, методы расчёта химических реакторов. -Принципы построения математических моделей технологических процессов, структура и функциональность специализированного ПО для моделирования, методы параметрической оптимизации. Умения: -Выполнять балансовые расчёты вручную и с использованием ЭВМ, определять основные размеры аппаратов и строить технологические схемы. -Применять кинетические и термодинамические модели для расчёта реакторов, определять оптимальные условия проведения реакций. -Разрабатывать стационарные и динамические модели узлов установок, проводить параметрическую оптимизацию и оценивать влияние изменения сырья и режимов на выход и качество продукции.

	Практический опыт, владение: -Подготовка исходных данных для проектирования и реконструкции производственных узлов. -Выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ с применением методов математического моделирования и инженерных расчётов. -Работа с проектной документацией, составление технических заданий на модернизацию оборудования.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка

	прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	--

2.5.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание
P1	Понятие и виды моделирования	Введение. Виды моделирования. Определение математической модели. Классификация моделей. Этапы математического моделирования.
P2	Метрологическое обеспечение эксперимента	Измерение физических величин. Типы погрешностей измерений. Доверительный интервал для оценки математического ожидания нормального распределения при неизвестном σ . Суммарная погрешность измерений. Погрешности косвенных измерений. Ведение лабораторного журнала. Требования к оформлению научного отчета.
P3	Построение статистических математических моделей элементов ХТС	Построение моделей статистическими методами. Полный двухфакторный эксперимент. Трехфакторный эксперимент.
P4	Исследование кинетики химических реакций в технологии природных теплоносителей	Задачи кинетики. Экспериментальные исследования кинетики реакций. Вывод механизма реакции из кинетических экспериментов. Кинетика образования оксидов азота при обогреве коксовых печей.
P5	Описание тепловых и гидродинамических процессов.	Теплопередача. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Математическая формулировка задачи теплообмена. Стационарная теплопроводность. Теплопроводность при нестационарном режиме. Основы теории подобия. Уравнения гидродинамики. Турбулентность. Пограничный слой. Течение в трубах. Течение падающей пленки. Основы гидравлики. Уравнение Бернулли. Скорость истечения жидкости из отверстия в резервуаре. Кавитация.

2.5.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.5.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Электронные ресурсы (издания)

1. Сидоров О.Ю. Основы научных исследований в технологии природных энергоносителей : методические указания к практическим занятиям. [Электронный ресурс]. Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2019. – 26 с. №15-02/18195-17
2. Шкляр, М. Ф. Основы научных исследований : учебное пособие : [16+] / М. Ф. Шкляр.

- 9-е изд. – Москва : Дашков и К°, 2022. – 208 с. : табл. – (Учебные издания для бакалавров). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=684505> – Библиогр.: с. 195-196. – ISBN 978-5-394-04708-4. – Текст : электронный.
3. Сафронова, Т. Н. Основы научных исследований : учебное пособие : [16+] / Т. Н. Сафронова, А. М. Тимофеева, Т. Л. Камоза ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2016. – 168 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497506> – Библиогр.: с. 153-159. – ISBN 978-5-7638-3428-4. – Текст : электронный.

Печатные издания

1. Рузавин Г.И. Методология научного познания: уч.пос. М.: ЮНИТИ ДАНА, 2005. 287 с. – 2 экз.
2. Кузнецов И.Н. Научное исследование: методика проведения и оформление. М.: Дашков и К. 2006. 460 с. – 2 экз.
3. Горелов Н.А. Методология научных исследований : учебник и практикум для бакалавриата и магистратура / Н. А. Горелов, Д. В. Круглов, О. Н. Кораблева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2019. - 365, [1] с. : ил. - (Бакалавр и магистр. Академический курс). - Приложений: с. 332-337. - Глоссарий: с. 338. - Библиогр. в конце глав.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (nti.urfu.ru)
3. Профессиональная база данных «SpringerMaterials» (<http://materials.springer.com/>)
4. Журнал Кокс и Химия <http://nti.urfu.ru/page/Periodika>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а так же в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.5.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа

1	Лекции	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к	Система видеоконференций

			сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового проектирования	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется

2.6. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Процессная симуляция и оптимизация химико-технологических систем

2.6.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Процессная симуляция и оптимизация химико-технологических систем

2.6.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.6.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.	Знания: –теоретические основы химической термодинамики и кинетики; –строение атома и молекулы, природа химической связи и её влияние на свойства веществ; –классификацию и номенклатуру органических и неорганических соединений. основные типы реакционных механизмов и методы идентификации веществ. Умения: –классифицировать химические объекты по строению и свойствам, прогнозировать их реакционную способность и поведение в различных условиях; –обосновывать выбор оптимальных условий проведения реакций для достижения максимальной селективности и выхода целевого продукта. интерпретировать результаты химических анализов и спектральных данных для установления строения и состава веществ. Практический опыт, владение –планирование и проведение химического эксперимента с использованием лабораторного оборудования и соблюдением правил безопасности. –применение аналитических методов для количественного и качественного анализа; построение кинетических кривых и расчётом термодинамических функций.
ПК-4. Способен выполнять технологические расчёты (материальные, тепловые, гидравлические, кинетические) и проектировать типовые аппараты, реакторы и установки переработки	Знания: -Методы расчёта материальных и тепловых балансов для стационарных и нестационарных режимов, гидравлические расчёты трубопроводов и аппаратов. -Основы химической кинетики и термодинамики, методы расчёта химических реакторов. -Принципы построения математических моделей технологических процессов, структура и функциональность

природных энергоносителей и производства углеродных материалов, включая использование методов математического моделирования и цифровых инструментов.	специализированного ПО для моделирования, методы параметрической оптимизации. Умения: -Выполнять балансовые расчёты вручную и с использованием ЭВМ, определять основные размеры аппаратов и строить технологические схемы. -Применять кинетические и термодинамические модели для расчёта реакторов, определять оптимальные условия проведения реакций. -Разрабатывать стационарные и динамические модели узлов установок, проводить параметрическую оптимизацию и оценивать влияние изменения сырья и режимов на выход и качество продукции. Практический опыт, владение: -Подготовка исходных данных для проектирования и реконструкции производственных узлов. -Выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ с применением методов математического моделирования и инженерных расчётов. -Работа с проектной документацией, составление технических заданий на модернизацию оборудования.
ПК-5. Способен обеспечивать эффективную и безопасную эксплуатацию химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов, проводить анализ и оптимизацию режимов с учётом экологических ограничений, энергоэффективности и требований промышленной безопасности.	Знания: -Физико-химические и технологические закономерности основных процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов. -Методы контроля технологических параметров, устройство и принципы работы контрольно-измерительных приборов и систем автоматизации, включая современные датчики и анализаторы. -Нормативные требования по промышленной безопасности и охране труда, экологические ограничения и методы их соблюдения, принципы энергосбережения и энергоэффективности. Основы технико-экономического анализа производств и оценки влияния технологических решений на окружающую среду. Умения: -Анализировать данные с датчиков и систем автоматизации для оценки текущего технологического режима, выявлять отклонения от регламента и оперативно корректировать параметры. -Проводить расчёты материальных и тепловых балансов для диагностики работы установок, разрабатывать рекомендации по оптимизации режимов с целью повышения выхода целевых продуктов, снижения энергозатрат и уменьшения выбросов. -Оценивать экологические и экономические последствия принимаемых решений, разрабатывать мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду и повышению энергоэффективности. -Разрабатывать технологические инструкции и регламенты, участвовать в пусконаладочных работах, настройке и

	испытаниях оборудования. Практический опыт, владение: -Мониторинг технологических параметров с использованием штатных измерительных систем, ведение сменного журнала, оперативное управление процессом в штатных и нештатных ситуациях. -Участие в пусконаладочных работах, выявление и устранение неполадок оборудования, применение методик анализа нештатных ситуаций. -Работа с нормативной и эксплуатационной документацией, участие в разработке технических условий на продукцию и экологической отчётности.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации. -Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка

	алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	--

2.6.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Введение в процессную симуляцию химико-технологических систем	Понятие процессной симуляции. Роль компьютерного моделирования в проектировании, исследовании и оптимизации химико-технологических систем. Классификация моделей: статические и динамические, детерминированные и стохастические, непрерывные и дискретные. Принципы математического моделирования химико-технологических процессов. Обзор программных средств для процессной симуляции: Aspen Plus, HYSYS, ChemCAD, SimInTech, Simulink. Преимущества и особенности SimInTech как среды динамического моделирования технических систем. SimInTech — собственная разработка ООО «ЗВ Сервис», включена в единый реестр российских программ для ЭВМ. Примеры применения SimInTech для моделирования химических реакторов и технологических процессов
P2	Знакомство со средой динамического моделирования SimInTech	Архитектура и функциональные возможности SimInTech. Основные элементы интерфейса: рабочее поле, библиотеки блоков, панель свойств, окно результатов. Типы блоков и их назначение. Принципы построения структурных схем в SimInTech: соединение блоков, задание параметров, задание начальных условий. Встроенный язык сценариев для описания математических моделей. Численное моделирование в режиме реального времени и с масштабированием модельного времени. Средства визуализации и анализа результатов
P3	Моделирование гидродинамических процессов и систем	Математическое описание гидродинамических процессов. Моделирование потоков жидкости и газа в трубопроводах, насосах, компрессорах. Уравнения неразрывности и сохранения импульса. Расчёт гидравлического сопротивления и потерь напора. Моделирование истечения жидкостей и газов. Построение моделей гидросистем в SimInTech.
P4	Моделирование	Математическое описание процессов

	тепломассообменных процессов	тепломассообмена. Уравнения теплового баланса для теплообменников различных типов (кожухотрубные, пластинчатые). Статические и динамические модели теплообменников. Учёт теплопередачи через стенку, коэффициентов теплоотдачи, температурных напоров. Применение SimInTech для моделирования теплообменных аппаратов
P5	Моделирование химических реакторов	Математическое моделирование химических реакторов. Типы реакторов: реактор идеального смешения (РИС), реактор идеального вытеснения (РИВ), каскад реакторов. Материальный и тепловой балансы реакторов. Учёт кинетики химических реакций, констант скоростей (уравнение Аррениуса), тепловых эффектов. Динамические модели реакторов: моделирование нестационарных режимов, пусков и остановок. Особенности моделирования экзотермических реакций, теплового разгона и управления температурой. Применение SimInTech для создания цифровых моделей химических реакторов и тестирования их работы
P6	Моделирование ректификационных и колонных процессов	Математическое описание процессов ректификации, абсорбции и экстракции. Тарельчатые и насадочные колонны. Уравнения материального и теплового балансов для колонных аппаратов. Моделирование фазового равновесия в системах жидкость-пар. Приближённые методы расчёта (метод Фенске-Андервуда, метод Киркбрайта). Особенности динамического моделирования колонных аппаратов.
P7	Комплексное моделирование	Выполнение индивидуального или группового проекта по моделированию и оптимизации химико-технологической системы в SimInTech. Примеры тем: • Моделирование и оптимизация реакторного узла производства продукта; • Моделирование системы охлаждения экзотермического реактора; • Моделирование и оптимизация ректификационной колонны.

2.6.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.6.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Процессная симуляция и оптимизация химико-технологических систем

Электронные ресурсы (издания)

1. Руководство пользователя SimInTech (встроенная справка).

Печатные издания

1. Власов Д.В., Мясников А.В., Аксенов Д.А. Использование SimInTech при автоматизации технологических процессов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022.
2. Андреев А.С., Аксенчик К.В. Опыт использования среды динамического моделирования технических систем Simintech в процессе обучения студентов // Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании. – Екатеринбург : РГППУ, 2020.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (nti.urfu.ru)

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.6.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Процессная симуляция и оптимизация химико-технологических систем

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор,	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций

			проекционный экран/доска.	
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Система видеоконференций
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная.	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет

		проектирования	Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется

2.7. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые двойники в химической технологии

2.7.1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые двойники в химической технологии

2.7.1.1. Технологии обучения, используемые при изучении дисциплины модуля

При реализации дисциплины используется традиционная (репродуктивная) технология, применяются информационные технологии, проблемное обучение.

2.7.1.2. Планируемые результаты обучения (индикаторы) по дисциплине

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
ПК-1. Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.	Знания: –теоретические основы химической термодинамики и кинетики; –строение атома и молекулы, природа химической связи и её влияние на свойства веществ; –классификацию и номенклатуру органических и неорганических соединений. основные типы реакционных механизмов и методы идентификации веществ. Умения: –классифицировать химические объекты по строению и свойствам, прогнозировать их реакционную способность и поведение в различных условиях; –обосновывать выбор оптимальных условий проведения реакций для достижения максимальной селективности и выхода целевого продукта. интерпретировать результаты химических анализов и спектральных данных для установления строения и состава веществ. Практический опыт, владение –планирование и проведение химического эксперимента с использованием лабораторного оборудования и соблюдением правил безопасности. –применение аналитических методов для количественного и качественного анализа; построение кинетических кривых и расчётом термодинамических функций.
ПК-4. Способен выполнять технологические расчёты (материальные, тепловые, гидравлические, кинетические) и проектировать типовые аппараты, реакторы и	Знания: -Методы расчёта материальных и тепловых балансов для стационарных и нестационарных режимов, гидравлические расчёты трубопроводов и аппаратов. -Основы химической кинетики и термодинамики, методы расчёта химических реакторов.

установки переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов, включая использование методов математического моделирования и цифровых инструментов.	-Принципы построения математических моделей технологических процессов, структура и функциональность специализированного ПО для моделирования, методы параметрической оптимизации. Умения: -Выполнять балансовые расчёты вручную и с использованием ЭВМ, определять основные размеры аппаратов и строить технологические схемы. -Применять кинетические и термодинамические модели для расчёта реакторов, определять оптимальные условия проведения реакций. -Разрабатывать стационарные и динамические модели узлов установок, проводить параметрическую оптимизацию и оценивать влияние изменения сырья и режимов на выход и качество продукции. Практический опыт, владение: -Подготовка исходных данных для проектирования и реконструкции производственных узлов. -Выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ с применением методов математического моделирования и инженерных расчётов. -Работа с проектной документацией, составление технических заданий на модернизацию оборудования.
ПК-5. Способен обеспечивать эффективную и безопасную эксплуатацию химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов, проводить анализ и оптимизацию режимов с учётом экологических ограничений, энергоэффективности и требований промышленной безопасности.	Знания: -Физико-химические и технологические закономерности основных процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов. -Методы контроля технологических параметров, устройство и принципы работы контрольно-измерительных приборов и систем автоматизации, включая современные датчики и анализаторы. -Нормативные требования по промышленной безопасности и охране труда, экологические ограничения и методы их соблюдения, принципы энергосбережения и энергоэффективности. Основы технико-экономического анализа производств и оценки влияния технологических решений на окружающую среду. Умения: -Анализировать данные с датчиков и систем автоматизации для оценки текущего технологического режима, выявлять отклонения от регламента и оперативно корректировать параметры. -Проводить расчёты материальных и тепловых балансов для диагностики работы установок, разрабатывать рекомендации по оптимизации режимов с целью повышения выхода целевых продуктов, снижения энергозатрат и уменьшения выбросов. -Оценивать экологические и экономические последствия принимаемых решений, разрабатывать мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду и повышению энергоэффективности.

	-Разрабатывать технологические инструкции и регламенты, участвовать в пусконаладочных работах, настройке и испытаниях оборудования. Практический опыт, владение: -Мониторинг технологических параметров с использованием штатных измерительных систем, ведение сменного журнала, оперативное управление процессом в штатных и нештатных ситуациях. -Участие в пусконаладочных работах, выявление и устранение неполадок оборудования, применение методик анализа нештатных ситуаций. -Работа с нормативной и эксплуатационной документацией, участие в разработке технических условий на продукцию и экологической отчётности.
ПК-6. Способен разрабатывать и применять цифровые модели, системы управления и методы интеллектуального анализа данных для оптимизации химико-технологических процессов переработки природных энергоносителей и производства углеродных материалов.	Знания: -Принципы математического моделирования химико-технологических процессов и основы численных методов решения систем уравнений. -Архитектура, функциональные возможности и методика работы в специализированном программном обеспечении для моделирования, симуляции и проектирования технологических схем, а также методы построения цифровых двойников на основе данных с датчиков. -Основы теории автоматического управления, структура и принципы функционирования АСУ ТП, SCADA-систем и промышленных контроллеров, а также современные методы интеллектуального анализа данных (статистические, машинное обучение, нейросетевые подходы) для диагностики, прогнозирования и оптимизации. Умения: -Разрабатывать математические модели отдельных аппаратов и технологических узлов, выполнять балансовые расчёты, проводить параметрическую оптимизацию режимов и интерпретировать результаты моделирования для выработки инженерных решений. -Создавать и калибровать цифровые двойники на основе данных с промышленных датчиков, использовать их для прогнозирования показателей процесса, раннего обнаружения отклонений и корректировки технологических параметров, а также применять симуляционные инструменты для сценарного анализа. -Применять методы машинного обучения и статистического анализа для прогнозирования качества продукции, диагностики состояния оборудования, выявления аномалий и оптимизации режимов, а также проектировать системы автоматического регулирования и разрабатывать технические задания на модернизацию АСУ ТП. Практический опыт, владение: -Работа в симуляционных средах: построение принципиальных схем, ввод физико-химических параметров, проведение расчётов, визуализация и анализ результатов, оформление отчётной документации.

	-Интеграция данных из систем сбора информации (SCADA) в инструменты моделирования и аналитики, настройка алгоритмов обработки данных, калибровка моделей по реальным данным. -Конфигурирование SCADA-систем, участие в пусконаладочных работах систем управления, разработка прототипов прогнозных моделей с использованием инструментов анализа данных и подготовка рекомендаций для технологического персонала.
--	---

2.7.1.3. Содержание дисциплины

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание
P1	Введение в цифровые двойники (ЦД)	История развития концепции ЦД. Основные определения и терминология. Типология ЦД: прототип, экземпляр, агрегат. Три измерения ЦД (уровень анализа, стадия жизненного цикла, технологии). Обзор кейсов применения в промышленности.
P2	Концепция цифровых двойников: подходы и модели	Трёхэлементная модель. Концепция «цифровая нить». Подход Центра НТИ СПбПУ: пятиэлементная модель. Сравнительный анализ подходов. Построение структурной схемы ЦД для химико-технологического объекта.
P3	Технологии создания цифровых двойников	Математическое и компьютерное моделирование. Метод конечных элементов (МКЭ). Промышленный интернет вещей (IIoT), сбор данных, SCADA-системы. Большие данные и искусственный интеллект. Обзор платформенных решений. Практика работы в CAE-среде.
P4	Цифровые двойники в химической технологии	Особенности ЦД для химико-технологических объектов (реакторы, колонны, теплообменники, насосы, компрессоры). Учёт многофазных потоков, химических реакций, тепломассообмена. ЦД для управления жизненным циклом оборудования – прогнозирование остаточного ресурса, предиктивное обслуживание. Интеграция ЦД с системами управления (SCADA, ERP). Построение многоуровневой матрицы требований для химико-технологического оборудования. Моделирование работы химического реактора в CAE-среде. Анализ данных с датчиков и построение цифровой тени.
P5	Примеры реализации цифровых двойников в промышленности	Цифровой двойник коксовой печи, химического реактора.

2.7.1.4. Язык реализации программы

Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации

2.7.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые двойники в химической технологии

Электронные ресурсы (издания)

1. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Щербина Л.А. и др. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности : монография / под ред. А.И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: (предоставляется в рамках ЭБС).
2. Дмитриев В.М., Гембух Л.А., Сахабутдинов А.Е. Цифровые двойники : учебное пособие. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 88 с.
3. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / науч. ред. А.И. Боровков. – М. : ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

Печатные издания

Не используются.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» (<http://biblioclub.ru>)
2. ЭБС «Электронная библиотека НТИ» (nti.urfu.ru)

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а так же в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

2.7.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Учебная аудитория для проведения	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система

		лекционных занятий	студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.	видеоконференций
2	Практические занятия	Учебная аудитория для проведения практических занятий – компьютерный класс	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: комплект (переносного – если аудитория не оборудована стационарным оборудованием) проекционного оборудования: ноутбук/компьютер, проектор, проекционный экран/доска.. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Система видеоконференций
3	Консультации	Учебная аудитория для проведения консультаций	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ	Система видеоконференций

			(филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	
4	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория/ помещения для самостоятельной работы обучающихся и курсового проектирования	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная. Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства, устройства подключения к сети Интернет, доступ в электронную информационно-образовательную среду НТИ (филиала) УрФУ, комплект лицензионного программного обеспечения	Microsoft Windows, Microsoft Office, Договор на предоставление постоянного доступа к сети Интернет
5	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов, рабочее место преподавателя, доска аудиторная; Компьютерная техника: персональные компьютеры, периферийные устройства по количеству обучающихся	Не требуется