МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

Цифровые двойники

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	**Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств**
Учебный план	09.03.01_25_00_ИИ_САПР.plx 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
Квалификация	**бакалавр**
Форма обучения	**очная**
Общая трудоемкость	**5 ЗЕТ**

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**6 (3.2)**		Итого	
Недель	16			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	32	32	32	32
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Иная контактная работа	0,35	0,35	0,35	0,35
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	66,35	66,35	66,35	66,35
Контактная работа	66,35	66,35	66,35	66,35
Сам. работа	60	60	60	60
Часы на контроль	53,65	53,65	53,65	53,65
Итого	180	180	180	180

г. Рязань

Программу составил(и):

к.т.н., доцент, Гостин Алексей Михайлович

Рабочая программа дисциплины

Цифровые двойники

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 929)

составлена на основании учебного плана:

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

утвержденного учёным советом вуза от 20.05.2026 протокол № 11.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств

Протокол от 20.05.2026 г. № 6
Срок действия программы: 2025-2029 уч.г.
ВРИО зав. кафедрой Перепелкин Дмитрий Александрович

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств

Протокол от __ _____ 2027 г. № __

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры
Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств

Протокол от __ _____ 2028 г. № __

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры
Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств

Протокол от __ _____ 2029 г. № __

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2030-2031 учебном году на заседании кафедры

Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств

Протокол от __ _____ 2030 г. № __

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
1.1	Сформировать у студентов комплексное понимание технологии цифровых двойников и выработать практические навыки их проектирования, разработки и внедрения в промышленных условиях.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Цикл (раздел) ОП:	Б1.В
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Геометрическое моделирование
2.1.2	Компьютерная графика
2.2	**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Глубокие нейронные сети
2.2.2	Управление проектами в сфере ИИ
2.2.3	Облачные технологии
2.2.4	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.5	Преддипломная практика

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ПК-13: Способен применять и (или) разрабатывать архитектуры глубоких нейронных сетей (DL-1, уровень Б)

ПК-13.1. Объясняет и применяет математические основы нейронных сетей, включая расчет градиентов, методы оптимизации и алгоритм обратного распространения ошибки для эффективного обучения моделей (DL-1.1, уровень Б)

Знать
• математический аппарат backpropagation в контексте многослойных сетей (MLP);
• аналитические выражения для градиентов функций потерь (MSE, Cross-Entropy) и функций активации (ReLU, sigmoid);
• теоретическое обоснование методов оптимизации (SGD с моментом, Adam) в рамках задач прогнозирования параметров производства.
Уметь
• выводить формулы частных производных для слоя с произвольной функцией активации;
• рассчитывать обновления весов в сети с двумя скрытыми слоями на синтетических данных;
• интерпретировать графики потерь и градиентов при обучении модели прогнозирования.
Владеть
• техникой символьного дифференцирования для кастомных функций потерь;
• методами контроля численной устойчивости при вычислении градиентов;
• инструментами визуализации динамики обучения (графики потерь, гистограммы градиентов) в Jupyter Notebook.

ПК-13.2. Реализует неглубокие нейронные сети (перцептроны, MLP), выбирает количество и размер слоёв, подходящие функции активации и функции потерь для решения задач классификации и регрессии (DL-1.2, уровень Б)

Знать
• критерии выбора количества нейронов в скрытых слоях для задач регрессии;
• влияние функций активации на скорость сходимости MLP;
• методы регуляризации (dropout, L2) в контексте предотвращения переобучения на промышленных данных.
Уметь
• проектировать MLP с учётом размерности входных данных;
• реализовывать сеть на Python, используя NumPy для матричных операций;
• диагностировать переобучение по кривым обучения/валидации.
Владеть
• методиками подбора гиперпараметров (скорость обучения, размер батча) для MLP;
• инструментами профилирования времени обучения сети;
• техниками нормализации входных данных для повышения стабильности обучения.

ПК-13.3. Применяет современные архитектуры глубоких сетей для решения различных задач, понимая их внутреннюю структуру и особенности обучения (DL-1.3, уровень Б)

Знать
• архитектуру CNN для анализа изображений дефектов продукции;
• принципы работы LSTM для прогнозирования временных рядов (данные с датчиков линии производства);
• особенности трансформеров в задачах обработки промышленных логов.
Уметь
• адаптировать ResNet для классификации изображений промышленных изделий;
• настраивать гиперпараметры RNN для прогнозирования расхода сырья;
• оценивать вычислительные затраты при выборе архитектуры (CNN / Transformer).
Владеть
• навыками дообучения предобученных моделей (Transfer Learning) на ограниченных промышленных датасетах;
• методами сокращения размерности моделей (прунинг, квантование) для edge-устройств;
• инструментами интерпретации активаций CNN (Grad-CAM для локализации дефектов).

ПК-13.4. Разрабатывает и оптимизирует специализированные архитектуры для работы с изображениями, учитывая их уникальные свойства (DL-1.4, уровень Б)

Знать
• принципы свёрточных операций для анализа изображений промышленных изделий;
• архитектуры U-Net и Mask R-CNN для сегментации дефектов на поверхности изделий;
• методы аугментации (поворот, шум, изменение контраста) для увеличения обучающей выборки.
Уметь
• проектировать CNN с учётом разрешения промышленных камер;
• оптимизировать размер модели под ограничения embedded-систем;
• оценивать качество сегментации через метрики IoU и F1-score.
Владеть
• техниками предобработки изображений (нормализация, выравнивание гистограммы);
• инструментами разметки данных (LabelImg, VIA) для создания датасетов;
• методами ускорения inference (ONNX, TensorRT) для реального времени.

ПК-13.5. Разрабатывает, адаптирует и внедряет генеративные нейронные сети для решения практических задач, включая создание новых архитектур, оптимизацию обучения и промышленное развертывание моделей (DL-1.6, уровень Б)

Знать
• архитектуру GAN для генерации синтетических данных о расходе сырья;
• метрики FID и IS для оценки качества генеративных моделей;
• сценарии применения VAE для моделирования редких событий (брак продукции).
Уметь
• обучать GAN на малых датасетах с использованием техники spectral normalization;
• генерировать данные с заданными характеристиками (например, дефекты определённого типа);
• настраивать баланс Generator/Discriminator через гиперпараметры.
Владеть
• методами стабилизации обучения GAN (WGAN-GP, gradient penalty);
• техниками fine-tuning предобученных генеративных моделей;
• инструментами оценки этичности генерируемого контента (анализ смещений в данных).

ПК-13.6. Разрабатывает, обучает и внедряет графовые нейронные сети (GNN) для решения задач анализа графовых данных, включая создание архитектур, обработку графов различных типов и промышленное развертывание моделей (DL-1.8, уровень Б)

Знать
• представление производственных процессов как графов (вершины — цеха, рёбра — потоки продукции);
• механизмы агрегации сообщений в GCN и GAT;
• задачи на графах: оптимизация логистики, анализ взаимосвязей параметров.
Уметь
• строить графы с атрибутами (пропускная способность, задержки);
• выбирать архитектуру GNN под задачу предсказания узких мест;
• обрабатывать графы переменной размерности через padding/masking.
Владеть
• библиотеками PyG и DGL для реализации GNN;
• методами эмбеддинга графов (Node2Vec);
• инструментами визуализации графовых структур (Gephi, NetworkX).

ПК-13.7. Применяет, адаптирует и разрабатывает методы дообучения нейронных сетей для эффективной адаптации моделей к новым задачам и доменам (DL-1.12, уровень Б)

Знать
• подходы transfer learning для адаптации моделей к новым типам материалов;
• техники domain adaptation (CORAL, adversarial training) для смены производственных линий;
• стратегии постепенного дообучения (progressive unfreezing).
Уметь
• адаптировать модели к малым датасетам через few-shot learning;
• выявлять катастрофическое забывание (catastrophic forgetting) по метрикам;
• оценивать необходимость полного переобучения / дообучения.
Владеть
• методами активного обучения для отбора информативных примеров;
• инструментами мониторинга смещения данных (data drift);
• техниками обучения с подкреплением для адаптации моделей.

ПК-14: Способен применять и (или) разрабатывать современные архитектуры генеративных глубоких сетей (DL-2, уровень Б)

ПК-14.1. Применяет известные архитектуры генеративных глубоких нейронных сетей для решения прикладной задачи (генерация текста, генерация изображений по тексту, синтез речи и т.д.), при необходимости проводя дообучение на наборах данных (DL-2.1, уровень Б)

Знать
• типовые архитектуры для генерации текста (T5 для технических описаний), изображений (StyleGAN для дизайна продукции);
• способы оценки качества генерации (BLEU для текста, FID для изображений);
• этические ограничения (генерация фейковых данных о качестве продукции).
Уметь
• дообучать Stable Diffusion на датасете изображений выпускаемой продукции;
• интегрировать генеративные модели в пайплайны контроля качества;
• корректировать генерацию через промптинжиниринг (текстовые описания дефектов).
Владеть
• инструментами мультимодальной генерации (текст - изображение);
• методами постобработки результатов (фильтрация артефактов);
• техниками контроля достоверности генерируемых данных.

ПК-14.2. Имплементирует известные архитектуры генеративных сетей, реализует пайплайны их обучения на датасетах и вывод генеративных моделей в продуктивную среду (DL-2.2, уровень Б)

Знать
• этапы пайплайна: сбор данных - предобработка - обучение - валидация - развёртывание;
• форматы сохранения моделей (ONNX, TorchScript) для inference;
• требования к инфраструктуре (GPU, RAM) для генеративных моделей.
Уметь
• автоматизировать обучение через скрипты (Bash, Python);
• развёртывать модели как микросервисы (Docker, FastAPI);
• мониторить производительность через логи и метрики (latency, throughput).
Владеть
• CI/CD-пайплайнами для генеративных моделей (GitHub Actions, GitLab CI);
• инструментами A/B тестирования генерации;
• методами кэширования и пакетной генерации для снижения latency.

ПК-23: Способен управлять процессом жизненного цикла ИИ-продукта (LC-4, уровень Б)

ПК-23.1. Осуществляет запуск и ведение проекта в области ИИ, в том числе планирование и контроль задач, оценку ресурсов (LC-4.1, уровень Б)

Знать
• Основные методологии управления ИИ-проектами (Agile, Scrum, Kanban) и особенности их применения на этапах сбора данных, обучения моделей и внедрения решений.
• Состав ключевой проектной документации для ИИ-систем: техническое задание, roadmap, план рисков, протокол валидации модели, отчёт о внедрении.
• Методы оценки ресурсов и затрат для ИИ-проектов: расчёт потребности в GPU/TPU, объёме хранилища, бюджете на разметку данных и облачные сервисы.
Уметь
• Составлять календарные планы и дорожные карты ИИ-проектов с выделением этапов: сбор и разметка данных - обучение модели - валидация - деплоймент - мониторинг.
• Оценивать трудозатраты на задачи ML-разработки (в Story Points или часах), включая предобработку данных, подбор архитектуры и настройку гиперпараметров.
• Управлять изменениями в требованиях (например, корректировка KPI модели) без срыва сроков, формируя приоритеты в бэклоге задач.
Владеть
• Инструментами проектного менеджмента: СФЕРА.Задачи (управление задачами), GanttPRO (календарное планирование), Confluence/Notion (документооборот).
• Методиками мониторинга и отчётности: дашбордами (Grafana, Kibana), автоматизированными отчётами о деградации модели, логированием экспериментов (MLflow, Weights & Biases).
• Практиками координации команд: организацией синхронной работы ML-специалистов и производственников, проведением демо-презентаций для заказчиков, управлением конфликтами интересов (например, между точностью модели и стоимостью внедрения).

ПК-35: Способен применять и (или) разрабатывать алгоритмы, методы и технологии компьютерного зрения (DL-3, уровень Б)

ПК-35.1. Применяет (проводя выбор и эксперименты) известные алгоритмы и библиотеки компьютерного зрения, предобученные глубокие нейросетевые модели для прикладных задач анализа изображений и видеопотока, при необходимости дообучая и валидируя на собственных наборах данных (DL-3.1, уровень Б)

Знать
- архитектуры и принципы работы современных моделей компьютерного зрения и глубокого обучения;
- методы дообучения (fine-tuning) и переноса обучения (transfer learning) для адаптации предобученных моделей;
- подходы к валидации и тестированию моделей компьютерного зрения на различных наборах данных.
Уметь
- применять известные алгоритмы и библиотеки компьютерного зрения (OpenCV, TensorFlow, PyTorch) для решения прикладных задач анализа изображений;
- проводить эксперименты по дообучению и валидации моделей на собственных наборах данных;
- анализировать результаты работы моделей в различных условиях (освещение, ракурс, качество изображения) и выявлять граничные случаи.
Владеть
- навыками отбора и подготовки датасетов для задач компьютерного зрения;
- технологиями дообучения (fine-tuning) предобученных моделей из репозиториев (Hugging Face, TensorFlow Hub);
- методами комплексной валидации CV-моделей.

ПК-35.2. Имплементирует известные алгоритмы, архитектуры и модели компьютерного зрения на реальных данных, строит пайплайны обучения моделей и развертывания сервисов компьютерного зрения в продуктивной среде (DL-3.3, уровень Б)

Знать
- принципы построения end-to-end пайплайнов машинного обучения;
- архитектурные подходы и инструменты для развертывания ML-сервисов;
- требования к промышленной эксплуатации сервисов CV.
Уметь
- имплементировать алгоритмы компьютерного зрения на реальных данных с построением воспроизводимых пайплайнов обучения моделей;
- проектировать и разрабатывать микросервисы для инференса моделей компьютерного зрения;
- автоматизировать процессы обучения, тестирования и развертывания моделей с использованием CI/CD практик.
Владеть
- навыками работы с инструментами контейнеризации (Docker) и фреймворками для развертывания моделей (FastAPI, MLflow) в продуктивной среде;
- практическими навыками построения end-to-end пайплайнов компьютерного зрения;
- компетенциями в области тестирования устойчивости и генерализации моделей компьютерного зрения.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	**Знать:**
3.1.1	• концептуальные основы технологии цифровых двойников, их назначение и области применения;
3.1.2	• математические методы моделирования, используемые при создании цифровых двойников;
3.1.3	• технологии и протоколы сбора, передачи и интеграции данных для цифровых двойников;

3.1.4	• принципы работы и архитектуры нейронных сетей, релевантных для промышленных сценариев (в т. ч. графовых и генеративных моделей);
3.1.5	• подходы к глубокому обучению для анализа производственных данных;
3.1.6	• особенности применения компьютерного зрения в цифровых двойниках;
3.1.7	• типовую архитектуру цифрового двойника предприятия и принципы моделирования жизненного цикла продукции;
3.1.8	• методы оптимизации производства с использованием цифровых двойников;
3.1.9	• экономические показатели и критерии эффективности проектов цифровых двойников;
3.1.10	• этические и регуляторные аспекты внедрения цифровых двойников в промышленности.
3.2	**Уметь:**
3.2.1	• формулировать требования к цифровому двойнику на основе технологических ограничений;
3.2.2	• выбирать и обосновывать математические модели для конкретных сценариев цифрового двойника;
3.2.3	• интегрировать разнородные источники данных в единую систему цифрового двойника;
3.2.4	• проектировать и обучать нейронные сети для моделирования производственных процессов;
3.2.5	• применять методы глубокого обучения и компьютерного зрения для анализа промышленных данных;
3.2.6	• разрабатывать сценарии симуляции на базе генеративных моделей;
3.2.7	• адаптировать и дообучать модели в условиях изменяющейся промышленной среды;
3.2.8	• выстраивать архитектуру цифрового двойника с учётом масштабируемости и безопасности;
3.2.9	• оценивать экономическую эффективность и риски проектов цифровых двойников;
3.2.10	• документировать проектные решения и презентовать результаты.
3.3	**Владеть:**
3.3.1	• навыками работы с инструментами моделирования и симуляции для создания цифровых двойников;
3.3.2	• инструментами использования фреймворков глубокого обучения (TensorFlow, PyTorch) и библиотек компьютерного зрения (OpenCV);
3.3.3	• навыками работы с промышленными протоколами и платформами сбора данных (OPC UA, MQTT, Kafka);
3.3.4	• технологиями развёртывания и мониторинга ИИ-модулей в промышленной среде;
3.3.5	• средствами построения дашбордов и визуализации данных цифрового двойника (Grafana);
3.3.6	• навыками проектирования графовых структур для моделирования сложных производственных систем;
3.3.7	• навыками проведения сценарного анализа и оптимизации на базе цифрового двойника;
3.3.8	• навыками управления проектами цифровых двойников (оценка сроков, ресурсов, рисков).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетен-ции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Цифровые двойники					
1.1	Введение в концепцию цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.2	Введение в концепцию цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-13.2-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.3	Построение концептуальной модели цифрового двойника /Пр/	6	2	ПК-13.2-У ПК-13.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л3.2	Защита практической работы
1.4	Введение в концепцию цифровых двойников /Ср/	6	4	ПК-13.2-З ПК-13.2-У ПК-13.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л3.2	Подготовка к практическому занятию
1.5	Математические основы моделирования для цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.6	Математические основы моделирования для цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-13.1-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.7	Математические основы моделирования для цифровых двойников /Ср/	6	3	ПК-13.1-З ПК-13.1-У ПК-13.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3	Изучение конспекта лекций
1.8	Технологии сбора и интеграции данных для цифровых двойников /Тема/	6	0			

1.9	Технологии сбора и интеграции данных для цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-23.1-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.8	
1.10	Обработка и интеграция промышленных данных /Пр/	6	2	ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.8 Л3.2	Защита практической работы
1.11	Технологии сбора и интеграции данных для цифровых двойников /Ср/	6	4	ПК-23.1-З ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.8 Л3.2	Подготовка к практическому занятию
1.12	Основы нейронных сетей в контексте цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.13	Основы нейронных сетей в контексте цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-13.2-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.14	Основы нейронных сетей в контексте цифровых двойников /Ср/	6	3	ПК-13.2-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3	Изучение конспекта лекций
1.15	Проектирование нейронных сетей для моделирования производственных процессов /Тема/	6	0			
1.16	Проектирование нейронных сетей для моделирования производственных процессов /Лек/	6	2	ПК-13.2-З ПК-13.4-З ПК-13.5-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6	
1.17	Проектирование нейронной сети для прогнозирования параметров производства /Пр/	6	2	ПК-13.2-У ПК-13.2-В ПК-13.5-У ПК-13.5-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л3.1	Защита практической работы
1.18	Разработка информационного слоя цифрового двойника /Лаб/	6	4	ПК-13.2-У ПК-13.2-В ПК-13.5-У ПК-13.5-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л3.1	Защита лабораторной работы
1.19	Проектирование нейронных сетей для моделирования производственных процессов /Ср/	6	5	ПК-13.2-З ПК-13.2-У ПК-13.2-В ПК-13.4-З ПК-13.4-У ПК-13.4-В ПК-13.5-З ПК-13.5-У ПК-13.5-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л3.1	Подготовка к практическому занятию и лабораторной работе
1.20	Глубокое обучение для анализа производственных данных /Тема/	6	0			
1.21	Глубокое обучение для анализа производственных данных /Лек/	6	2	ПК-13.1-З ПК-13.2-З ПК-13.3-З ПК-13.7-З ПК-14.1-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.3 Л2.5 Л2.6	
1.22	Глубокое обучение для анализа производственных данных /Ср/	6	3	ПК-13.1-З ПК-13.2-З ПК-13.3-З ПК-13.7-З ПК-14.1-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.3 Л2.5 Л2.6	Изучение конспекта лекций
1.23	Компьютерное зрение в цифровых двойниках /Тема/	6	0			
1.24	Компьютерное зрение в цифровых двойниках /Лек/	6	2	ПК-13.3-З ПК-13.4-З ПК-35.1-З ПК-35.2-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6	

1.25	Анализ изображений продукции с помощью CNN /Пр/	6	2	ПК-13.3-У ПК-13.3-В ПК-13.4-У ПК-13.4-В ПК-35.1-У ПК-35.1-В ПК-35.2-У ПК-35.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л3.3	Защита практической работы
1.26	Компьютерное зрение в цифровых двойниках /Ср/	6	4	ПК-13.3-З ПК-13.3-У ПК-13.3-В ПК-13.4-З ПК-13.4-У ПК-13.4-В ПК-35.1-З ПК-35.1-У ПК-35.1-В ПК-35.2-З ПК-35.2-У ПК-35.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л3.3	Подготовка к практическому занятию
1.27	Генеративные модели для симуляции производственных сценариев /Тема/	6	0			
1.28	Генеративные модели для симуляции производственных сценариев /Лек/	6	2	ПК-13.5-З ПК-14.1-З ПК-14.2-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.5 Л2.6	
1.29	Генерация синтетических данных для обучения моделей /Пр/	6	2	ПК-13.5-У ПК-13.5-В ПК-14.1-У ПК-14.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л3.1	Защита практической работы
1.30	Интеграция цифрового двойника с IoT-устройствами /Лаб/	6	4	ПК-14.2-У ПК-14.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.4 Л2.6 Л3.1	Защита лабораторной работы
1.31	Генеративные модели для симуляции производственных сценариев /Ср/	6	5	ПК-13.5-З ПК-13.5-У ПК-13.5-В ПК-14.1-З ПК-14.1-У ПК-14.1-В ПК-14.2-З ПК-14.2-У ПК-14.2-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л3.1	Подготовка к практическому занятию и лабораторной работе
1.32	Графовые нейронные сети в промышленных системах /Тема/	6	0			
1.33	Графовые нейронные сети в промышленных системах /Лек/	6	2	ПК-13.6-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.7	
1.34	Моделирование графовых структур производственных процессов /Пр/	6	2	ПК-13.6-У ПК-13.6-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.7 Л3.1	Защита практической работы
1.35	Графовые нейронные сети в промышленных системах /Ср/	6	4	ПК-13.6-З ПК-13.6-У ПК-13.6-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.7 Л3.1	Подготовка к практическому занятию
1.36	Дообучение и адаптация моделей в промышленных условиях /Тема/	6	0			
1.37	Дообучение и адаптация моделей в промышленных условиях /Лек/	6	2	ПК-13.7-З	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.5 Л2.6	
1.38	Валидация и калибровка модели цифрового двойника /Лаб/	6	4	ПК-13.7-У ПК-13.7-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.5 Л2.6 Л3.2	Защита лабораторной работы
1.39	Дообучение и адаптация моделей в промышленных условиях /Ср/	6	4	ПК-13.7-З ПК-13.7-У ПК-13.7-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.5 Л2.6	Подготовка к лабораторной работе

1.40	Архитектура цифрового двойника предприятия /Тема/	6	0			

1.41	Архитектура цифрового двойника предприятия /Лек/	6	2	ПК-14.1-3 ПК-14.2-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.4 Л2.6	
1.42	Архитектура цифрового двойника предприятия /Ср/	6	3	ПК-14.1-3 ПК-14.2-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.4 Л2.6	Изучение конспекта лекций
1.43	Моделирование жизненного цикла продукции в цифровом двойнике /Тема/	6	0			
1.44	Моделирование жизненного цикла продукции в цифровом двойнике /Лек/	6	2	ПК-14.2-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8	
1.45	Имитационное моделирование производственного процесса /Пр/	6	2	ПК-14.2-У ПК-14.2-В ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8 Л3.2	Защита практической работы
1.46	Моделирование жизненного цикла продукции в цифровом двойнике /Ср/	6	4	ПК-14.2-3 ПК-14.2-У ПК-14.2-В ПК-23.1-3 ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8 Л3.2	Подготовка к практическому занятию
1.47	Оптимизация производства с помощью цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.48	Оптимизация производства с помощью цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-13.7-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.5 Л2.6 Л2.8	
1.49	Оптимизация производства с помощью цифровых двойников /Ср/	6	3	ПК-13.7-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.5 Л2.6 Л2.8	Изучение конспекта лекций
1.50	Внедрение и развёртывание ИИ-модулей в промышленную среду /Тема/	6	0			
1.51	Внедрение и развёртывание ИИ-модулей в промышленную среду /Лек/	6	2	ПК-14.2-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8	
1.52	Развёртывание модели в промышленной среде /Пр/	6	2	ПК-14.2-У ПК-14.2-В ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8 Л3.2	Защита практической работы
1.53	Разработка интерфейса взаимодействия с цифровым двойником /Лаб/	6	4	ПК-14.2-У ПК-14.2-В ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.8 Л3.2	Защита лабораторной работы
1.54	Внедрение и развёртывание ИИ-модулей в промышленную среду /Ср/	6	5	ПК-14.2-3 ПК-14.2-У ПК-14.2-В ПК-23.1-3 ПК-23.1-У ПК-23.1-В	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.4 Л2.6 Л2.8 Л3.2	Подготовка к практическому занятию и лабораторной работе
1.55	Экономика и управление проектами цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.56	Экономика и управление проектами цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.8	
1.57	Экономика и управление проектами цифровых двойников /Ср/	6	3	ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.8 Л3.2	Изучение конспекта лекций
1.58	Перспективы и этика применения цифровых двойников /Тема/	6	0			
1.59	Перспективы и этика применения цифровых двойников /Лек/	6	2	ПК-14.1-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.6 Л2.8	

1.60	Перспективы и этика применения цифровых двойников /Ср/	6	3	ПК-14.1-3 ПК-23.1-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.6 Л2.8	Изучение конспекта лекций

1.61	Промежуточная аттестация /Тема/	6	0			
1.62	Сдача экзамена /ИКР/	6	0,35		Л1.1 Л1.2 Л2.1-Л2.8	Сдача экзамена
1.63	Консультирование перед экзаменом /Кнс/	6	2		Л1.1 Л1.2 Л2.1-Л2.8	Консультирование перед экзаменом
1.64	Подготовка и сдача экзамена /Экзамен/	6	53,65		Л1.1 Л1.2 Л2.1-Л2.8	Подготовка и сдача экзамена

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине Цифровые двойники").

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/ название ЭБС
Л1.1	Гусев, С. А., Куверин, И. Ю., Гусева, И. А.	Цифровые двойники в области автомобильного транспорта : учебное пособие	Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2023, 248 с.	978-5-7433-3555-8, https://www.iprbookshop.ru/131673.html
Л1.2	Солёный С. В., Кузьменко В. П., Белай В. Е.	Цифровые двойники в электроэнергетике : учеб. пособие	Санкт-Петербург: ГУАП, 2023, 106 с.	978-5-8088-1872-9, https://e.lanbook.com/book/461486

6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/ название ЭБС
Л2.1	Пенский, О. Г.	Математические модели цифровых двойников : учебное пособие	Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019, 156 с.	978-5-7944-3267-1, https://www.iprbookshop.ru/118930.html
Л2.2	Веревкин, А. П., Муртазин, Т. М.	Искусственный интеллект в задачах моделирования, управления, диагностики технологических процессов : монография	Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023, 232 с.	978-5-9729-1428-9, https://www.iprbookshop.ru/132995.html

Л2.3		ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПНСТ №844-2023	Москва. - 2023	https://docs.cntd.ru/document/1303687659
Л2.4		Глубокое обучение для анализа и генерации изображений. Карточка компетенции базовой модели профессий и компетенций Альянса в сфере ИИ	Москва. - 2024.	https://skills.a-ai.ru/storage/38/готовое_Глубокое_обучение_для_анализа_и_генерации_изображений_и.pdf
Л2.5		Глубокое обучение для NLP. Карточка компетенции базовой модели профессий и компетенций Альянса в сфере ИИ	Москва. - 2024.	https://skills.a-ai.ru/storage/42/готовое_Глубокое_обучение_для_NLP.pdf
Л2.6	Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвиль, А.А. Слинкин	Глубокое обучение: учебник	М. : ДМК Пресс, 2022. – 652 с.	978-5-97060-554-4, https://www.iprbookshop.ru/130333.html
Л2.7		Графы знаний. Карточка компетенции базовой модели профессий и компетенций Альянса в сфере ИИ	Москва. - 2024.	https://skills.a-ai.ru/storage/35/Графы-знаний.pdf
Л2.8		Искусственный интеллект. Процессы жизненного цикла систем искусственного интеллекта: 71539-2024 (ИСО-МЭК 5338-2023)	Москва. - 2023.	https://docs.cntd.ru/document/1310068303

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/ название ЭБС
Л3.1	Сырецкий, Г. А.	Искусственный интеллект и основы теории интеллектуального управления. Ч.2. Нейросетевые системы. Генетический алгоритм : лабораторный практикум в 3 частях	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017, 92 с.	978-5-7782-3208-2 (ч.2), 978-5-7782-3021-7, https://www.iprbookshop.ru/91213.html
Л3.2	Сырецкий, Г. А.	Искусственный интеллект и основы теории интеллектуального управления Ч.1. Фазисистемы : лабораторный практикум. в 3 частях	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016, 92 с.	978-5-7782-3022-4 (ч. 1), 978-5-7782-3021-7, https://www.iprbookshop.ru/91364.html
Л3.3	Монычева, А. А., Штейнбах, О. Л.	Компьютерная обработка изображений : лабораторный практикум	Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022, 55 с.	2227-8397, https://www.iprbookshop.ru/138764.html

6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование	Описание
Операционная система Windows	Коммерческая лицензия
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
VirtualBox	Свободное ПО
Pyton	Свободное ПО
Qt	Свободное ПО

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	Система КонсультантПлюс http://www.consultant.ru

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	204 а учебно-административный корпус. учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 40 посадочных мест Специализированная мебель ПЭВМ с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно -образовательную среду РГРТУ Проектор Epson Доска маркерная, экран.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методические материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические материалы по дисциплине Технологии Интернета вещей")

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ	**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ,** Корячко Вячеслав Петрович, Заведующий кафедрой САПР	**03.07.26** 14:54 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ	**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ,** Корячко Вячеслав Петрович, Заведующий кафедрой САПР	**03.07.26** 14:55 (MSK)	Простая подпись