

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Цифровые двойники» по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». – 33 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Цифровые двойники» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки, специальности 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 25.11.2020 № 1452 (с изменениями и дополнениями).

СОСТАВИТЕЛЬ:

Профессор, д.т.н. Стенцель И.И.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры управления инновациями в промышленности «02» 02 2026 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой _____  Е.А. Бойко

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № _____ .

Рекомендована на заседании Ученого совета Северодонецкого технологического института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля» «16» 02 2026 г., протокол № 5.

Председатель Ученого совета
СТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля» _____  Р.Ю. Ткачев

© Стенцель И.И., 2026 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2026 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения учебной дисциплины «Цифровые двойники» сформировать у обучающихся знания и навыки построения, анализа и применения цифровых двойников для моделирования и оптимизации технических, производственных и ИТ-систем с использованием современных программных инструментов.

Основными задачами дисциплины «Цифровые двойники» является изучение:

- теоретических основ и ключевых понятий технологии цифровых двойников;
- архитектуры, жизненного цикла и уровней зрелости цифровых двойников;
- современных инструментов и программных платформ для их разработки;
- методов сбора данных, моделирования и интеграции с реальными объектами;
- практических примеров и перспектив применения цифровых двойников в различных сферах.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Для успешного освоения дисциплины «Цифровые двойники» студент должен обладать знаниями по дисциплинам курса магистратуры.

Дисциплина «Цифровые двойники» входит в Часть, формируемая участниками образовательных отношений «Дисциплины (модули)» по выбору 1 (ДВ.1) Блока 1 подготовки студентов по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Дисциплина «Цифровые двойники» формируют «входные» знания:

1. Базовые технические и аналитические умения
 - Анализировать технические системы и процессы, выделять их ключевые компоненты и взаимосвязи.
 - Читать техническую документацию, схемы, чертежи (в т. ч. в САД форматах).
 - Формулировать постановку задачи для моделирования: определять цели, входные и выходные параметры, ограничения.
 - Работать с данными: собирать, очищать, структурировать и визуализировать данные (в т. ч. временные ряды с датчиков IoT).
 - Интерпретировать результаты моделирования и сравнивать их с реальными показателями.
2. Математические и моделирующие умения
 - Применять базовые методы математического моделирования (дифференциальные уравнения, статистика, теория вероятностей).
 - Строить простые математические модели физических процессов (механика, теплопередача, гидродинамика и т. п.).
 - Использовать методы имитационного моделирования (дискретно событийное, агентное, системная динамика).
 - Оценивать адекватность и точность модели, проводить верификацию и валидацию.

- Упрощать сложные модели без потери ключевых свойств (редукция моделей).
3. Программные и ИТ навыки
- Оперировать основными понятиями ИТ инфраструктуры: облачные вычисления, базы данных, API, протоколы обмена данными.
 - Владеть базовыми навыками программирования (например, на Python или MATLAB) для обработки данных и автоматизации расчётов.
 - Работать с инструментами для создания цифровых двойников:
 - CAD системы (AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС 3D);
 - CAE системы (ANSYS, COMSOL Multiphysics);
 - платформы IoT и интеграции данных (ThingWorx, Azure Digital Twins, Siemens MindSphere);
 - среды имитационного моделирования (AnyLogic, Simulink).
 - Настраивать обмен данными между реальным объектом (датчиками) и цифровой моделью.
4. Междисциплинарные и проектные умения
- Интегрировать знания из разных областей (физика, механика, электротехника, информатика, экономика) для комплексного моделирования.
 - Понимать принципы работы промышленного оборудования и технологических процессов (в зависимости от специализации).
 - Планировать этапы создания цифрового двойника: от сбора требований до внедрения и сопровождения.
 - Работать в команде с инженерами, программистами, технологами и аналитиками.
 - Представлять результаты работы: составлять отчёты, строить дашборды, делать презентации для разных аудиторий (технических специалистов и управленцев).
5. Критическое и системное мышление
- Выявлять потенциальные риски и ограничения при внедрении цифровых двойников.
 - Оценивать экономическую целесообразность и ROI (возврат инвестиций) проекта по созданию цифрового двойника.
 - Адаптироваться к новым инструментам и технологиям в быстроразвивающейся области.
 - Самостоятельно изучать новые методики и ПО по документации и онлайн ресурсам.
 -

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию	ПК-2	ПК-2.1. Знает: классификацию аппаратных и программных средств микроконтроллеров и микропроцессоров; архитектуру ядра, адресное пространство и его распределение; периферийные устройства ПК-2.2. Знает основные способы хранения и

автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности		обеспечение целостности и доступности информации ПК-2.3. Знает: САД-системы, их функции, использование для проектирования автоматизированных систем проектирования; документирование, контроль и управление сложными производствами различного назначения ПК-2.4. Знает: нормативную документацию, регламентирующую разработку функциональных, логических и технических схем систем автоматизации действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний; методику и правила составления схем систем автоматизации и управления ПК-2.5. Умеет работать в интегрированных средах разработки ПК-2.6. Умеет применять различные методы защиты информации в системах АСУТП ПК-2.7. Умеет применять методику объектно-ориентированного подхода при проектировании систем автоматизации и управления ПК-2.8. Умеет использовать полученные знания для разработки технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств ПК-2.9. Владеет навыками программирования на языках МЭК 61131/3 ПК-2.10. Владеет навыками использования специального программного обеспечения для обеспечения информационной безопасности АСУТП ПК-2.11. Владеет современными инструментами проектирования автоматизированных систем ПК-2.12. Владеет навыками использования современных инструментов проектирования автоматизированных систем для составления описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы		
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (3 зач. ед.)	108 (3 зач. ед.)
Обязательная контактная работа (всего) в том числе:	42	8
Лекции	14	2
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	28	6
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, индивидуальные задания и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	66	100
Форма аттестации	3 семестр зачет	3 семестр зачет

Тема 1. Введение в концепцию цифровых двойников

Что такое цифровой двойник: определение, суть и эволюция концепции. Отличие цифрового двойника от цифровой модели и цифрового прототипа. Уровни зрелости цифровых двойников (по Gartner и другим классификациям). Примеры применения в разных отраслях: промышленность, строительство, медицина, городское хозяйство. Ключевые преимущества и ограничения технологии.

Тема 2. Архитектура и компоненты цифрового двойника

Структурные элементы цифрового двойника: физическая сущность, виртуальная модель, связь между ними, сервисы аналитики. Роль IoT-устройств и датчиков в сборе данных. Каналы передачи данных: протоколы (MQTT, OPC UA и др.), сети (5G, LPWAN). Облачные и периферийные вычисления (Edge Computing) в архитектуре цифрового двойника. Базы данных и хранилища данных для работы с большими объемами информации.

Тема 3. Математическое и имитационное моделирование как основа цифрового двойника

Типы математических моделей: аналитические, численные, статистические. Методы моделирования: метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных объемов (МКО), дискретно-событийное моделирование. Имитационное моделирование: агентные модели, системная динамика. Верификация и валидация моделей: как убедиться, что модель адекватна реальному объекту.

Тема 4. Программные инструменты для создания цифровых двойников

CAD-системы (AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС-3D): создание геометрической модели. CAE-системы (ANSYS, COMSOL Multiphysics): инженерный анализ и расчёты. PLM-системы (Teamcenter, Windchill): управление жизненным циклом изделия. Платформы для цифровых двойников: Siemens MindSphere, GE Predix, Azure Digital Twins, ThingWorx. Среда программирования и анализа данных (Python с библиотеками NumPy, Pandas, MATLAB).

Тема 5. Интеграция данных и связь с реальным объектом

Сбор данных с датчиков и IoT-устройств: типы датчиков, частота опроса, форматы данных. Поточковая обработка данных (Stream Processing): Apache Kafka, Apache Flink. Синхронизация виртуального и физического объектов: механизмы обновления модели. Обработка ошибок и аномалий в данных: фильтрация, прогнозирование пропущенных значений. Кибербезопасность при обмене данными между физическим и цифровым мирами.

Тема 6. Применение цифровых двойников для прогнозирования и предиктивной аналитики

Прогностическое моделирование: прогнозирование отказов, износа, остаточного ресурса. Машинное обучение и ИИ в цифровых двойниках: обучение моделей на исторических данных. Цифровые двойники для «умного обслуживания» (Predictive Maintenance). Кейсы: прогнозирование состояния ветрогенераторов, турбин, промышленного оборудования.

Тема 7. Оптимизация процессов и принятие решений с помощью цифровых двойников

Использование цифрового двойника для оптимизации производственных линий. Моделирование «что-если» (What-If Analysis): оценка последствий изменений без вмешательства в реальный процесс. Оптимизация логистики и цепочек поставок. Экономическая оценка проектов: расчёт ROI, TCO (общей стоимости владения), окупаемости. Примеры: оптимизация энергопотребления здания, перенастройка сборочного конвейера.

Тема 8. Перспективы развития технологии и этические вопросы

Тренды: интеграция с метавселенными, расширенная реальность (XR), квантовые вычисления. Стандартизация и совместимость цифровых двойников разных производителей. Этические и юридические аспекты: владение данными, ответственность за решения, принятые на основе модели. Проблемы масштабирования технологии: стоимость, сложность внедрения, кадровый дефицит. Обзор перспективных исследований и стартапов в области цифровых двойников.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно- заочная форма	Заочная форма
3 семестр				
1	Введение в концепцию цифровых двойников	2	-	2

2	Архитектура и компоненты цифрового двойника	2	-	-
3	Математическое и имитационное моделирование как основа цифрового двойника	2	-	-
4	Программные инструменты для создания цифровых двойников	2	-	-
5	Интеграция данных и связь с реальным объектом	2	-	-
6	Применение цифровых двойников для прогнозирования и предиктивной аналитики	2	-	-
7	Оптимизация процессов и принятие решений с помощью цифровых двойников	1	-	-
8	Перспективы развития технологии и этические вопросы	1	-	-
Всего		14	-	2

4.4. Лабораторные работы по дисциплине «Цифровые двойники» не предполагаются учебным планом.

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно- заочная форма	Заочная форма
3 семестр				
1				
2				
3				
Всего				

4.5. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно- заочная форма	Заочная форма
1	Анализ кейсов внедрения цифровых двойников	4	-	-
2	Проектирование архитектуры цифрового двойника	4	-	6
3	Построение простой математической модели	4	-	-
4	Создание 3D-модели и инженерный анализ	4	-	-
5	Моделирование потока данных от датчиков	4	-	-
6	Прогнозирование отказов с помощью ML	4	-	-
7	Оптимизация процесса методом «что-если»	2	-	-
8	Разработка дорожной карты внедрения цифрового двойника	2	-	-
Итого:		28	-	6

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов		
			Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
3 семестр					
1.	Введение в концепцию цифровых двойников	Анализ кейсов внедрения цифровых двойников	10	-	10
2.	Архитектура и компоненты цифрового двойника	Проектирование архитектуры цифрового двойника	10	-	10
3.	Математическое и имитационное моделирование как основа цифрового двойника	Построение простой математической модели	10	-	10
4.	Программные инструменты для создания цифровых двойников	Создание 3D-модели и инженерный анализ	10	-	10
5.	Интеграция данных и связь с реальным объектом	Моделирование потока данных от датчиков	5	-	10
6.	Применение цифровых двойников для прогнозирования и предиктивной аналитики	Прогнозирование отказов с помощью ML	5	-	10
7.	Оптимизация процессов и принятие решений с помощью цифровых двойников	Оптимизация процесса методом «что-если»	5	-	10
8.	Перспективы развития технологии и этические вопросы	Разработка дорожной карты внедрения цифрового двойника	5	-	10
зачет			6	-	20
Итого			66	-	100

4.7. Курсовые работы/проекты по дисциплине «Цифровые двойники» не предполагаются учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых

позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Используемые образовательные технологии и методы направлены на повышение качества подготовки путем развития у обучающихся способностей к самообразованию и нацелены на активизацию и реализацию личностного потенциала каждого студента.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Прохоров, А. Н. Цифровой двойник: анализ, тренды, мировой опыт / А. Н. Прохоров, М. Н. Лысачев ; под науч. ред. А. И. Боровкова. — М. : АльянсПринт, 2020. — 401 с.
2. Гембух, Л. Цифровые двойники : учебное пособие / Л. Гембух, В. М. Дмитриев, А. Е. Сахабутдинов. — Томск : ТУСУР, 2024. — 184 с.
3. Юсупова, Н. И. Модели, методы и инструменты при создании цифровых двойников / Н. И. Юсупова. — Уфа : УГАТУ, 2022. — 216 с.

б) дополнительная литература

1. Гривс, М. «Концепция цифровых двойников в управлении жизненным циклом продукции». — М.: Техносфера, 2018. — 215 с.
2. Роль искусственного интеллекта в развитии цифровых двойников: коллективная монография / А. Б. Смирнов [и др.]. — М.: ИНФРА-М, 2021. — 320 с.
3. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности = Digital Twins in the High-Technology Manufacturing Industry: монография / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, К. В. Кукушкин, А. А. Гамзикова. — СПб.: СПбПУ, 2024.

4. Дмитриев, В. М. Цифровые двойники: учебное пособие / В. М. Дмитриев, Л. А. Гембух, А. Е. Сахабутинов. — Томск: ТУСУР, 2024. — 88 с.

в) методические рекомендации:

г) интернет-ресурсы:

Министерство науки и высшего образования РФ – <https://minobrnauki.gov.ru/>
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы:

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Научная электронная библиотека Elibrary – Режим доступа: URL: <http://elibrary.ru/>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации:

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Освоение дисциплины «Цифровые двойники» предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	FirefoxMozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com

Почтовый клиент	MozillaThunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	FarManager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт

оценочных средств по учебной дисциплине

«Цифровые двойники»

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ПК-2 Способен разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Пороговый	Знать: классификацию аппаратных и программных средств микроконтроллеров и микропроцессоров; архитектуру ядра, адресное пространство и его распределение; периферийные устройства; основные способы хранения и обеспечение целостности и доступности информации; CAD-системы, их функции, использование для проектирования автоматизированных систем проектирования; документирование, контроль и управление сложными производствами различного назначения; нормативную документацию, регламентирующую разработку функциональных, логических и технических схем систем автоматизации действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний; методику и правила составления схем систем автоматизации и управления
Основной		Базовый	Уметь: работать в интегрированных средах разработки; применять различные методы защиты информации в системах АСУТП; применять методику объектно-ориентированного подхода при проектировании систем автоматизации и управления; использовать полученные знания для разработки технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств

Заключительный		Высокий	Владеть: навыками программирования на языках МЭК 61131/3; навыками использования специального программного обеспечения для обеспечения информационной безопасности АСУТП; современными инструментами проектирования автоматизированных систем; навыками использования современных инструментов проектирования автоматизированных систем для составления описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов
--	--	-----------------------	---

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-2	Способен разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ПК-2.1. Знает: классификацию аппаратных и программных средств микроконтроллеров и микропроцессоров; архитектуру ядра, адресное пространство и его распределение; периферийные устройства ПК-2.2. Знает основные способы хранения и обеспечение целостности и доступности информации ПК-2.3. Знает: CAD-системы, их функции, использование для проектирования автоматизированных систем проектирования; документирование, контроль и	Введение в концепцию цифровых двойников	3
				Архитектура и компоненты цифрового двойника	3

			управление сложными производствами различного назначения ПК-2.4. Знает: нормативную документацию, регламентирующую разработку функциональных, логических и технических схем систем автоматизации действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний; методику и правила составления схем систем автоматизации и управления ПК-2.5. Умеет работать в	Математическое и имитационное моделирование как основа цифрового двойника	3
				Программные инструменты для создания цифровых двойников	3

			интегрированных средах разработки ПК-2.6. Умеет применять различные методы защиты информации в системах АСУТП ПК-2.7. Умеет применять методику объектно-ориентированного подхода при проектировании систем автоматизации и управления ПК-2.8. Умеет использовать полученные знания для разработки технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств ПК-2.9. Владеет навыками программирования на языках МЭК 61131/3 ПК-2.10. Владеет навыками	Интеграция данных и связь с реальным объектом	3
				Применение цифровых двойников для прогнозирования и предиктивной аналитики	3

			использования специального программного обеспечения для обеспечения информационной безопасности АСУТП ПК-2.11. Владеет современными инструментами проектирования автоматизированн х систем ПК-2.12. Владеет навыками использования современных инструментов проектирования автоматизированн х систем для составления описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов	Оптимизация процессов и принятие решений с помощью цифровых двойников	3
				Перспективы развития технологии и этические вопросы	3

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
	ПК-2. Способен разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ПК-2.1. Знает: классификацию аппаратных и программных средств микроконтроллеров и микропроцессоров; архитектуру ядра, адресное пространство и его распределение; периферийные устройства ПК-2.2. Знает основные способы хранения и обеспечение целостности и доступности информации ПК-2.3. Знает: CAD-системы, их функции, использование для проектирования автоматизированных систем проектирования; документирование, контроль и управление сложными производствами различного назначения ПК-2.4. Знает: нормативную документацию, регламентирующую разработку функциональных, логических и технических схем систем автоматизации	Знать: суть цифрового двойника и его отличия от других моделей; уровни зрелости (по Gartner и др.); архитектуру (физический объект + виртуальная модель + связь + аналитика); ключевые технологии: IoT, Cloud/Edge, Big Data; основные протоколы: MQTT, OPC UA; базовые платформы: Siemens MindSphere, Azure Digital Twins, ANSYS, SolidWorks; показатели оценки проектов: ROI, TCO. Уметь: анализировать системы для моделирования; проектировать архитектуру цифрового двойника; строить математические модели и 3D-модели (CAD);	Тема 1 Тема 2 Тема 3 Тема 4 Тема 5 Тема 6 Тема 7 Тема 8	тестовые задания, разноуровневые контрольные работы и задания, практические работы

		действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний; методику и правила составления схем систем автоматизации и управления ПК-2.5. Умеет работать в интегрированных средах разработки ПК-2.6. Умеет применять различные методы защиты информации в системах АСУТП ПК-2.7. Умеет применять методику объектно-ориентированного подхода при проектировании систем автоматизации и управления ПК-2.8. Умеет использовать полученные знания для разработки технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств ПК-2.9. Владеет навыками программирования на языках МЭК 61131/3 ПК-2.10. Владеет	выполнять инженерный анализ (CAE); обрабатывать данные с датчиков и визуализировать их (дашборды); применять ML для прогнозирования отказов (Python); проводить анализ «что-если» (What-If Analysis); оценивать точность моделей и рассчитывать ROI; выявлять риски внедрения; составлять отчёты. Владеть: инструментами: CAD (AutoCAD, SolidWorks), CAE (ANSYS, COMSOL), платформы цифровых двойников (Siemens MindSphere, Azure Digital Twins), среды моделирования (AnyLogic, Simulink); языками: Python (Pandas, NumPy, Scikit-learn), MATLAB/Simulink; технологиями: IoT, MQTT/OPC UA, Apache Kafka; методологиями: планирование проекта (диаграмма Ганта),		
--	--	--	---	--	--

		навыками использования специального программного обеспечения для обеспечения информационной безопасности АСУТП ПК-2.11. Владеет современными инструментами проектирования автоматизированных систем ПК-2.12. Владеет навыками использования современных инструментов проектирования автоматизированных систем для составления описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов	управление рисками, What-If Analysis; навыками: работа в команде, подготовка презентаций и отчётов; стандартами: кибербезопасность, OPC UA.		
--	--	---	--	--	--

3. Вопросы к контрольным работам

(пороговый уровень)

1. Дайте определение понятия «цифровой двойник».
2. Чем цифровой двойник отличается от цифровой модели и цифрового прототипа?
3. Назовите основоположника концепции цифровых двойников.
4. Перечислите основные уровни зрелости цифровых двойников по классификации Gartner.
5. Какие три базовых компонента входят в классическую концепцию цифрового двойника (по М. Гривсу)?

6. В каких отраслях наиболее активно применяются цифровые двойники? Приведите 3–4 примера.
7. Какую роль играют технологии IoT в создании цифровых двойников?
8. Какие типы датчиков чаще всего используются для сбора данных в системах цифровых двойников?
9. Что такое Edge Computing и как он применяется в архитектуре цифрового двойника?
10. Какие протоколы передачи данных чаще всего используются в системах цифровых двойников (приведите 2–3 примера)?
11. Какие типы математических моделей могут лежать в основе цифрового двойника?
12. Что такое верификация модели? Приведите один метод верификации.
13. Что такое валидация модели? Приведите один метод валидации.
14. Какие методы инженерного анализа применяются при создании цифровых двойников (назовите 2–3 метода)?
15. Перечислите 3–4 CAD системы, используемых для создания геометрических моделей в цифровых двойниках.
16. Назовите 2–3 CAE системы для инженерного анализа и симуляции.
17. Какие платформы цифровых двойников вы знаете (приведите 2–3 примера)?
18. Для чего используется анализ «что если» (What If Analysis) в контексте цифровых двойников?
19. Что такое предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance) и как цифровые двойники помогают его реализовать?
20. Какие данные обычно собираются с датчиков для предиктивного обслуживания?
21. Какие метрики используются для оценки точности моделей машинного обучения в цифровых двойниках?
22. Как рассчитывается ROI для проекта по созданию цифрового двойника?
23. Какие экономические выгоды может принести внедрение цифрового двойника на предприятии?
24. Какие основные риски и ограничения существуют при внедрении цифровых двойников?
25. Какие требования к кибербезопасности необходимо учитывать при разработке цифрового двойника?
26. Что такое жизненный цикл цифрового двойника? Перечислите его основные этапы.
27. Какие специалисты обычно входят в команду по разработке цифрового двойника?
28. Какие языки программирования и библиотеки чаще всего используются для обработки данных в цифровых двойниках?
29. Какие технологические тренды будут влиять на развитие цифровых двойников в ближайшие 5 лет?
30. Какие этические и юридические вопросы возникают при использовании цифровых двойников?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «контрольная работа»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
---------------------------------------	---------------------

5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90 – 100% вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75 – 89% вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50 – 74% вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50%)

2. Вопросы для обсуждения (в виде индивидуальных заданий) (базовый уровень)

Тест для проверки знаний

1. Что такое цифровой двойник?
 - а) Компьютерная игра с реалистичной физикой.
 - б) Виртуальная модель физического объекта, синхронизированная с ним в реальном времени.
 - в) База данных о характеристиках изделия.
 - г) Программа для 3D-моделирования.
2. Кто считается основоположником концепции цифровых двойников?
 - а) Илон Маск.
 - б) Билл Гейтс.
 - в) Майкл Гривс.
 - г) Стив Джобс.
3. Какой уровень зрелости цифрового двойника предполагает работу в реальном времени?
 - а) Уровень I (пред-DT).
 - б) Уровень II (моделируемый DT).
 - в) Уровень III (операционный DT).
 - г) Уровень IV (интеллектуальный DT).
4. Какая технология обеспечивает сбор данных с физического объекта для цифрового двойника?
 - а) Blockchain.
 - б) IoT (Интернет вещей).
 - в) VR (виртуальная реальность).
 - г) 3D-печать.
5. Какой протокол часто используется для передачи данных в системах цифровых двойников?
 - а) HTTP.
 - б) MQTT.
 - в) FTP.
 - г) SMTP.
6. Что такое Edge Computing в контексте цифровых двойников?

- а) Облачные вычисления.
 - б) Обработка данных на периферийных устройствах рядом с источником данных.
 - в) Технология беспроводной связи.
 - г) Метод шифрования данных.
7. Какой метод используется для расчёта напряжений в детали при инженерном анализе?
- а) Метод главных компонент.
 - б) Метод конечных элементов (МКЭ).
 - в) Метод наименьших квадратов.
 - г) Метод Монте-Карло.
8. Какая система используется для автоматизированного проектирования 3D-моделей?
- а) CAD-система (например, SolidWorks).
 - б) ERP-система.
 - в) CRM-система.
 - г) Система видеонаблюдения.
9. Что такое верификация модели?
- а) Проверка соответствия модели реальному объекту.
 - б) Проверка правильности построения математической модели.
 - в) Процесс сбора данных с датчиков.
 - г) Визуализация результатов моделирования.
10. Что такое валидация модели?
- а) Проверка соответствия результатов моделирования реальному поведению объекта.
 - б) Проверка синтаксиса программного кода.
 - в) Создание 3D-модели объекта.
 - г) Настройка параметров датчиков.
11. Какая платформа является примером платформы цифровых двойников?
- а) Microsoft Word.
 - б) Siemens MindSphere.
 - в) Google Docs.
 - г) Adobe Photoshop.
12. Что такое предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance)?
- а) Регулярное плановое обслуживание оборудования.
 - б) Обслуживание по состоянию, прогнозируемому с помощью цифрового двойника.
 - в) Ремонт после поломки.
 - г) Замена оборудования каждые 5 лет.
13. Какой язык программирования часто используется для обработки данных в цифровых двойниках?
- а) C++.
 - б) Python.
 - в) Pascal.
 - г) Fortran.
14. Что такое анализ «что-если» (What-If Analysis)?
- а) Анализ исторических данных.
 - б) Моделирование различных сценариев для оценки последствий изменений.

- в) Проверка безопасности системы.
 - г) Оптимизация кода программы.
15. Какой показатель используется для оценки экономической эффективности проекта цифрового двойника?
- а) Количество датчиков.
 - б) ROI (возврат инвестиций).
 - в) Размер 3D-модели.
 - г) Скорость интернета.
16. Какие данные обычно собираются с датчиков для предиктивного обслуживания?
- а) Цвет объекта.
 - б) Температура, вибрация, давление.
 - в) Географическое положение.
 - г) Возраст оборудования.
17. Какая метрика используется для оценки точности модели классификации?
- а) Объём памяти.
 - б) Ассигасу (точность).
 - в) Скорость передачи данных.
 - г) Разрешение экрана.
18. Что такое жизненный цикл цифрового двойника?
- а) Срок службы физического объекта.
 - б) Этапы создания, внедрения, эксплуатации и вывода из эксплуатации цифрового двойника.
 - в) Время работы программы моделирования.
 - г) Период сбора данных с датчиков.
19. Какие специалисты обычно входят в команду по разработке цифрового двойника?
- а) Художники и дизайнеры.
 - б) Инженеры, программисты, аналитики данных.
 - в) Юристы и бухгалтеры.
 - г) Спортсмены и тренеры.
20. Какая библиотека Python используется для машинного обучения?
- а) Matplotlib.
 - б) Scikit-learn.
 - в) Pandas.
 - г) NumPy.
21. Какой тренд будет влиять на развитие цифровых двойников в ближайшие годы?
- а) Снижение скорости интернета.
 - б) Интеграция с метавселенными.
 - в) Отказ от облачных технологий.
 - г) Уменьшение количества датчиков.
22. Какие этические вопросы возникают при использовании цифровых двойников?
- а) Выбор цвета интерфейса.
 - б) Конфиденциальность данных и ответственность за решения ИИ.
 - в) Дизайн 3D-модели.

- г) Скорость работы программы.
23. Что такое цифровая тень?
- а) Тень от 3D-модели на экране.
 - б) Набор данных, получаемых с датчиков физического объекта.
 - в) Копия базы данных.
 - г) Виртуальный аватар пользователя.
24. Какой инструмент используется для визуализации данных и создания дашбордов?
- а) AutoCAD.
 - б) Power BI.
 - в) MATLAB.
 - г) SolidWorks.
25. Что такое синхронизация в контексте цифровых двойников?
- а) Одновременный запуск программ.
 - б) Обновление цифровой модели на основе данных с физического объекта в реальном времени.
 - в) Копирование файлов.
 - г) Настройка сети.
26. Какая отрасль активно использует цифровые двойники для оптимизации производства?
- а) Кулинария.
 - б) Промышленность.
 - в) Литература.
 - г) Музыка.
27. Что такое FMEA-анализ в контексте цифровых двойников?
- а) Анализ финансовых рынков.
 - б) Анализ видов и последствий отказов.
 - в) Анализ маркетинговых стратегий.
 - г) Анализ социальных сетей.
28. Какой тип моделирования используется для симуляции поведения системы во времени?
- а) Статическое моделирование.
 - б) Динамическое моделирование.
 - в) Графическое моделирование.
 - г) Текстовое моделирование.
29. Что такое кибербезопасность в контексте цифровых двойников?
- а) Защита от вирусов на компьютере.
 - б) Защита данных и систем от несанкционированного доступа и атак.
 - в) Безопасность работы с электричеством.
 - г) Защита от природных катастроф.
30. Какой стандарт регулирует обмен данными между системами цифровых двойников?
- а) JPEG.
 - б) OPC UA.
 - в) MP3.

г) PDF.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «разноуровневые задания и задачи»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Обучающийся полностью и правильно выполнил задание. Показал отличные знания, умения и владения навыками применения их при решении задач в рамках усвоенного учебного материала. Работа оформлена аккуратно в соответствии с предъявляемыми требованиями
4	Обучающийся выполнил задание с небольшими неточностями. Показал хорошие знания, умения и владения навыками применения их при решении задач в рамках усвоенного учебного материала. Есть недостатки в оформлении работы
3	Обучающийся выполнил задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания, умения и владения навыками применения их при решении задач
2	Обучающийся выполнил задание неправильно. При выполнении обучающийся продемонстрировал недостаточный уровень знаний, умений и владения ими при решении задач в рамках усвоенного учебного материала

3. Вопросы к практическим работам
(высокий уровень)

1. Что такое цифровой двойник? Чем он отличается от цифровой модели и цифрового прототипа?
2. Перечислите основные уровни зрелости цифровых двойников (по классификации Gartner или другой) и кратко охарактеризуйте каждый.
3. В каких отраслях и для решения каких задач наиболее эффективно применяются цифровые двойники? Приведите 2–3 конкретных примера.
4. Опишите основные структурные компоненты цифрового двойника и их назначение. Как обеспечивается связь между физическим объектом и его цифровой копией?
5. Какую роль играют технологии IoT в создании и функционировании цифровых двойников? Приведите примеры типов датчиков, используемых для разных объектов.
6. В чём преимущества и недостатки использования облачных вычислений и Edge Computing в архитектуре цифрового двойника? Когда предпочтительнее каждый вариант?
7. Какие типы математических моделей (аналитические, численные, статистические) могут лежать в основе цифрового двойника? Для каких задач подходит каждый тип?
8. Что такое верификация и валидация модели? Почему эти этапы критически важны при создании цифрового двойника? Приведите один метод для каждого этапа.
9. Какие методы инженерного анализа (например, метод конечных элементов) можно применять при создании цифровых двойников? В чём их практическая польза?

10. Перечислите 3–4 программных инструмента (CAD, CAE, платформы цифровых двойников), которые можно использовать для создания цифрового двойника. Кратко укажите назначение каждого.

11. Какие языки программирования и библиотеки наиболее часто применяются для обработки данных и машинного обучения в контексте цифровых двойников? Приведите пример задачи для одного из инструментов (например, Python + Pandas/Scikit learn).

12. Как цифровые двойники используются для предиктивного обслуживания (Predictive Maintenance)? Опишите логику работы такой системы на примере промышленного оборудования.

13. Что такое анализ «что если» (What If Analysis) в контексте цифровых двойников? Приведите пример сценария оптимизации производственного процесса с его помощью.

14. Какие ключевые показатели (KPI) можно рассчитать для оценки экономической эффективности проекта по созданию цифрового двойника? Как рассчитывается ROI в таких проектах?

15. Назовите 2–3 основных технологических тренда (например, интеграция с метавселенными, квантовые вычисления), которые будут влиять на развитие цифровых двойников в ближайшие 5 лет. Какие основные вызовы (технические, этические, экономические) стоят перед этой технологией сегодня?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству
«практическая работа»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% вопросов/задач)
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% вопросов/задач)
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50%)

4. Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

1. Раскройте эволюцию концепции цифровых двойников: от зарождения идеи до современного состояния.
2. Подробно опишите архитектуру цифрового двойника, указав назначение каждого компонента.
3. Сравните облачные и периферийные вычисления (Edge Computing) в контексте цифровых двойников: преимущества и недостатки каждого подхода.
4. Подробно опишите процесс сбора и обработки данных с датчиков IoT для цифрового двойника.
5. Объясните, как обеспечивается синхронизация между физическим объектом и его цифровым двойником.
6. Разберитесь на примере (например, насос или турбина), как создаётся математическая модель для цифрового двойника.
7. Опишите процесс верификации и валидации модели цифрового двойника: какие методы применяются и зачем это нужно.
8. Сравните различные методы инженерного анализа (МКЭ, МКО и др.) с точки зрения их применимости в цифровых двойниках.
9. Подробно опишите процесс создания 3D модели в CAD системе и её переноса в CAE систему для анализа.
10. Как осуществляется интеграция цифрового двойника с ERP и MES системами предприятия?
11. Опишите процесс обработки «шумных» данных: какие методы фильтрации применяются?
12. Как настраиваются условные оповещения в дашбордах цифровых двойников? Приведите пример логики срабатывания.
13. Разберитесь пошаговый процесс применения методов машинного обучения для прогнозирования отказов оборудования.
14. Какие алгоритмы классификации чаще всего используются для задач предиктивного обслуживания? Почему?
15. Опишите процесс сценарного анализа («что если») для оптимизации производственного процесса.
16. Как рассчитываются ключевые показатели эффективности (KPI) для проекта цифрового двойника? Приведите 3–4 примера KPI.

17. Разберите на конкретном примере, как рассчитывается ROI проекта по созданию цифрового двойника.
18. Опишите этапы разработки дорожной карты внедрения цифрового двойника для промышленного объекта.
19. Какие риски (технические, кадровые, финансовые) могут возникнуть при внедрении цифрового двойника и как их минимизировать?
20. Сравните 2–3 платформы цифровых двойников (например, Siemens MindSphere и Azure Digital Twins) по ключевым параметрам.
21. Как цифровые двойники применяются в «умных городах»? Приведите 2–3 конкретных примера.
22. Опишите применение цифровых двойников в здравоохранении: какие задачи решаются и какие технологии используются?
23. Как интегрируются технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) с цифровыми двойниками? Приведите примеры.
24. Какие стандарты и протоколы обмена данными используются в экосистеме цифровых двойников?
25. Каковы перспективы интеграции цифровых двойников с метавселенными?
26. Какие кадровые и инфраструктурные требования необходимы для успешного внедрения цифровых двойников на предприятии?
27. Как обеспечивается защита данных и кибербезопасность в системах цифровых двойников? Опишите 2–3 ключевых подхода.
28. Разберите кейс успешного внедрения цифрового двойника в промышленности: цели, технологии, результаты.
29. Какие нормативно правовые акты регулируют использование цифровых двойников в РФ?
30. Каковы глобальные тренды развития технологии цифровых двойников на ближайшие 5–10 лет? Какие новые возможности они открывают?

Критерии и шкала оценивания к промежуточной аттестации «зачет»

Шкала оценивания	Критерий оценивания
зачтено	Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.

	Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
	Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
не зачтено	Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;

- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
 - продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;
 - продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут;
 - продолжительность выступления обучающегося при защите курсовой работы – не более чем на 15 минут.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)