

## Рабочая программа дисциплины

# Интеллектуализация производства и цифровые двойники

Закреплена за подразделением Кафедра промышленного менеджмента

Направление подготовки 01.03.05 СТАТИСТИКА

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 93

часов на контроль 36

Формы контроля:  
экзамен 7

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
Неделя	16 4/6			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	93	93	93	93
В том числе сам. работа в рамках ФОС				
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

-, *асс., Романенко Егор Олегович*

Рабочая программа дисциплины

**Интеллектуализация производства и цифровые двойники**

Разработана в соответствии с ОС ВО НИТУ МИСИС, приказ № 796 о.в. от 10.12.2025.

Составлена на основании учебного плана:

01.03.05 СТАТИСТИКА, 01.03.05-БСТ-26.plx, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 20.11.2025, протокол № 9-25.

Утверждена в составе ОПОП ВО:

01.03.05 СТАТИСТИКА, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 20.11.2025, протокол № 9-25.

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра промышленного менеджмента**

Протокол от 21.01.2025 г., №5.

Руководитель подразделения Костюхин Юрий Юрьевич, д.э.н., доцент.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ	
1.1	Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся системного представления о концепции интеллектуализации производства и технологии цифровых двойников, а также выработка практических навыков проектирования, сбора и обработки данных, необходимых для создания и использования цифровых моделей производственных активов и процессов.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Блок ОП: Б1.В.ДВ.05	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Компьютерное зрение в промышленности
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.3	Создание стартапа

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ	
<b>ПК-4: Способен осуществлять сбор первичной статистической информации: проведение статистических наблюдений, анкетирование, приемка форм отчетности</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-31 Источники данных на современном производстве (промышленные датчики, IoT-устройства, MES-системы, ERP-системы); методы сбора данных о ходе технологических процессов и состоянии оборудования.	
<b>ПК-5: Способен выполнять обработку статистических данных: группировка, сводка, формирование систем взаимосвязанных статистических показателей и ведение статистических регистров</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-5-31 Методы предварительной обработки данных с датчиков (очистка от шума, заполнение пропусков, фильтрация); способы агрегации и группировки данных временных рядов; показатели для описания состояния оборудования и хода процесса.	
<b>ПК-9: Способен участвовать в проектировании концепции, архитектуры и интеграции автоматизированных систем, оформлять техническую и проектную документацию</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-9-31 Концепцию и уровни зрелости цифрового двойника; основные компоненты архитектуры системы цифрового двойника (физический объект, виртуальная модель, канал данных, сервисы); принципы интеграции цифрового двойника с другими IT-системами предприятия (MES, ERP, SCADA).	
<b>ПК-4: Способен осуществлять сбор первичной статистической информации: проведение статистических наблюдений, анкетирование, приемка форм отчетности</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-4-У1 Проектировать схему сбора данных для построения цифровой модели объекта; определять перечень и периодичность сбора необходимых показателей; формировать наборы данных для обучения моделей.	
<b>ПК-5: Способен выполнять обработку статистических данных: группировка, сводка, формирование систем взаимосвязанных статистических показателей и ведение статистических регистров</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-5-У1 Проводить разведочный анализ производственных данных; рассчитывать ключевые показатели эффективности (KPI) на основе сырых данных; формировать витрины данных для аналитических моделей.	
<b>ПК-9: Способен участвовать в проектировании концепции, архитектуры и интеграции автоматизированных систем, оформлять техническую и проектную документацию</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-9-У1 Разрабатывать концептуальную модель цифрового двойника для конкретного производственного актива или процесса; описывать информационные потоки между физическим объектом и его цифровой копией; составлять базовую техническую документацию на проект.	
<b>ПК-4: Способен осуществлять сбор первичной статистической информации: проведение статистических наблюдений, анкетирование, приемка форм отчетности</b>	
<b>Владеть:</b>	
ПК-4-В1 Навыками планирования сбора данных с физического объекта; пониманием принципов работы сенсоров и промышленных протоколов передачи данных (OPC UA, MQTT).	

<b>ПК-5: Способен выполнять обработку статистических данных: группировка, сводка, формирование систем взаимосвязанных статистических показателей и ведение статистических регистров</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-5-В1 Навыками обработки и анализа временных рядов; инструментами для сводки и группировки больших массивов производственных данных (например, с использованием Python/Pandas); методами подготовки данных для построения цифрового двойника.								
<b>ПК-9: Способен участвовать в проектировании концепции, архитектуры и интеграции автоматизированных систем, оформлять техническую и проектную документацию</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-9-В1 Навыками проектирования архитектуры простых цифровых двойников; методами описания требований к системе; пониманием стандартов и подходов к документированию ИТ-проектов.								

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ								
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Раздел 1. Введение в Индустрию 4.0 и интеллектуализацию производства</b>							
1.1	Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0). Ключевые технологии: IoT, Big Data, AI, Digital Twins. /Лек/	7	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1			
1.2	Концепция цифрового двойника (ЦД). Определение, история, цели создания. /Лек/	7	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
1.3	Типы и уровни зрелости цифровых двойников. От цифровой тени до автономного двойника. /Лек/	7	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
1.4	Анализ кейсов применения ЦД в различных отраслях. /Пр/	7	8	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
	<b>Раздел 2. Раздел 2. Сбор и подготовка данных для цифрового двойника</b>							
2.1	Источники данных в производственных цепях: датчики, контроллеры (ПЛК), SCADA, MES, ERP системы. /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
2.2	Промышленный интернет вещей (IIoT). Протоколы передачи данных (MQTT, OPC UA). /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
2.3	Проектирование схемы сбора данных для ЦД производственной ячейки. /Пр/	7	8	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
2.4	Предварительная обработка данных временных рядов: фильтрация шума, обработка пропусков. /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1		КМ1	
2.5	Обработка "сырого" набора данных с датчиков. /Пр/	7	4	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			Р1

2.6	Закрепление материала раздела. <sup>[11]</sup> /Ср/	7	21	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
	<b>Раздел 3. Раздел 3. Моделирование и архитектура цифрового двойника</b>							
3.1	Физическое и математическое моделирование. Имитационное моделирование. Архитектура системы ЦД: физический уровень, уровень данных, уровень моделирования, уровень сервисов. Интеграция ЦД с IT-ландшафтом предприятия. /Лек/	7	3	ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
3.2	Построение простой имитационной модели производственного процесса. /Пр/	7	2	ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
3.3	Проектирование концептуальной архитектуры ЦД. /Пр/	7	2	ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1		КМ2	
3.4	Разработка фрагмента технической документации (описание требований к системе).  /Пр/	7	2	ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			P2
3.5	Закрепление материала раздела. <sup>[11]</sup> /Ср/	7	36	ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
	<b>Раздел 4. Раздел 4. Применение цифровых двойников</b>							
4.1	ЦД для мониторинга и диагностики оборудования. Предиктивное обслуживание на основе ЦД. Оптимизация технологических процессов с помощью ЦД. Анализ "что, если". /Лек/	7	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
4.2	Анализ данных для предсказания отказов. /Пр/	7	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1		КМ3	
4.3	Решение кейса по оптимизации производственного параметра с помощью имитационной модели.  /Пр/	7	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			P3

4.4	Закрепление материала раздела. /Ср/	7	36	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ПК-9-31 ПК-9-У1 ПК-9-В1	Л1.2 Л1.3 Э1			
	<b>Раздел 5. Подготовка к контрольным мероприятиям и выполняемым работам</b>							
5.1	Объем часов самостоятельной работы на подготовку к КМ /Ср/	7	0		Л1.2 Л1.3 Э1			
5.2	Объем часов самостоятельной работы на подготовку к ВР /Ср/	7	0		Л1.2 Л1.3 Э1			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа №1: Основы интеллектуализации и ЦД	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1	<p>Что такое "Индустрия 4.0"?</p> <p>Дайте определение цифрового двойника.</p> <p>Назовите 3 типа цифровых двойников.</p> <p>Перечислите основные источники данных для ЦД на производстве.</p> <p>Что такое Промышленный интернет вещей (IIoT)?</p> <p>Зачем нужна предварительная обработка данных с датчиков?</p>
КМ2	Контрольная работа №2: Моделирование и архитектура	ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	<p>Что такое имитационное моделирование?</p> <p>Назовите 4 основных компонента архитектуры ЦД.</p> <p>Что такое MES-система и как она связана с ЦД?</p> <p>Опишите схему интеграции ЦД и ERP-системы.</p> <p>Что такое "цифровая тень"?</p> <p>Какие задачи решает уровень сервисов в архитектуре ЦД?</p>
КМ3	Контрольная работа №3: Применение цифровых двойников	ПК-9-31;ПК-9-У1;ПК-9-В1	<p>Как ЦД помогает в диагностике оборудования?</p> <p>Что такое предиктивное обслуживание?</p> <p>Как проводится анализ "что, если" с помощью ЦД?</p> <p>Пример использования ЦД для контроля качества продукции.</p> <p>Как ЦД может помочь в оптимизации логистической цепи?</p> <p>В чем экономический эффект от внедрения ЦД?</p>

#### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
------------	-----------------	------------------------------------	-------------------

P1	Практическая работа №1: Планирование сбора данных	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1	Для заданного производственного актива (например, станок с ЧПУ или конвейерная лента) определить ключевые параметры для мониторинга. Предложить типы и места установки датчиков, определить периодичность сбора данных и составить перечень собираемой информации.
P2	Практическая работа №2: Обработка производственных данных	ПК-5-У1;ПК-5-В1;ПК-5-31	На основе предоставленного временного ряда данных с датчика вибрации подшипника провести разведочный анализ: построить график, рассчитать описательные статистики, выявить аномалии. Применить метод скользящего среднего для сглаживания ряда.
P3	Практическая работа №3: Проектирование архитектуры ЦД	ПК-9-31;ПК-9-У1;ПК-9-В1	Описать концепцию цифрового двойника для сборочной линии. Нарисовать блок-схему архитектуры системы, указав основные компоненты (источники данных, модель, сервисы) и информационные потоки между ними. Составить краткое описание функциональных требований к ЦД.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (билеты, тесты и т.п.)

1. Раскройте сущность концепции Индустрии 4.0 и её ключевое отличие от предыдущих промышленных революций. Объясните роль киберфизических систем (CPS) в интеграции вычислительных ресурсов с физическими процессами производства. Перечислите основные технологические драйверы четвертой промышленной революции, такие как большие данные, интернет вещей и искусственный интеллект.
2. Дайте определение Промышленного интернета вещей (IIoT) и его архитектуры. Опишите разницу между потребительским IoT и промышленным IIoT с точки зрения требований к надежности и безопасности. Объясните, как подключение оборудования к сети изменяет подходы к сбору статистики и управлению производством.
3. Охарактеризуйте концепцию «Умной фабрики» (Smart Factory) и её основные признаки. Объясните, как обеспечивается децентрализация принятия решений, когда оборудование самостоятельно корректирует параметры работы. Расскажите о роли вертикальной и горизонтальной интеграции информационных систем в умном производстве.
4. Сравните облачные вычисления (Cloud Computing) и граничные вычисления (Edge Computing) в контексте обработки промышленных данных. Объясните, почему для управления роботами и станками в реальном времени предпочтительнее использовать Edge-устройства. Укажите, какие типы задач целесообразно выносить в облако, а какие решать на уровне контроллеров.
5. Опишите роль аддитивных технологий (3D-печати) в интеллектуальном производстве. Объясните, как аддитивное производство позволяет перейти от массового выпуска к массовой кастомизации продукции. Раскройте связь между цифровой моделью изделия и физическим процессом его послойного создания.
6. Раскройте понятие цифрового двойника (Digital Twin) и историю возникновения этого термина. Объясните, чем цифровой двойник отличается от обычной 3D-модели или чертежа (наличие обратной связи с физическим объектом). Перечислите основные стадии жизненного цикла изделия, на которых применяются цифровые двойники.
7. Охарактеризуйте классификацию цифровых двойников: Двойник-прототип (DTP), Двойник-экземпляр (DTI) и Двойник-агрегат (DTA). Объясните назначение каждого типа двойника на этапах проектирования, эксплуатации и анализа парка оборудования. Приведите примеры использования двойника-экземпляра для мониторинга конкретного станка.
8. Опишите архитектуру цифрового двойника согласно стандарту ISO 23247. Разъясните функции уровня сбора данных, уровня моделирования и уровня сервисов (приложений). Укажите, как обеспечивается синхронизация состояний между физической и виртуальной сущностями.
9. Раскройте методы сбора первичной статистической информации с производственного оборудования (ПК-4). Объясните принципы работы промышленных датчиков и сенсоров, преобразующих физические величины в цифровые сигналы. Опишите проблемы, возникающие при установке датчиков на устаревшее аналоговое оборудование (retrofitting).
10. Охарактеризуйте промышленные протоколы передачи данных: MQTT, OPC UA, Modbus. Объясните преимущества протокола OPC UA для обеспечения семантической совместимости и безопасности данных. Укажите, почему протокол MQTT часто используется в системах IIoT с ограниченной пропускной способностью сети.
11. Опишите роль систем SCADA в сборе и диспетчеризации данных технологических процессов. Объясните, как формируются базы данных тегов и как организован опрос контроллеров (PLC). Расскажите о различиях между оперативным управлением в SCADA и аналитикой в цифровых двойниках.
12. Раскройте функции систем управления производством (MES) как источника статистических данных. Объясните, как MES-системы собирают информацию о простоях, браке и производительности персонала. Опишите процесс интеграции данных из MES с данными телеметрии для создания полноценного цифрового двойника.
13. Опишите процесс подготовки и очистки «сырых» промышленных данных перед загрузкой в модель. Объясните методы обработки пропусков, фильтрации шума и удаления аномальных значений (выбросов). Укажите, почему качество входящих данных критически влияет на точность прогнозов цифрового двойника (принцип GIGO).
14. Охарактеризуйте методы статистической группировки и сводки данных для анализа работы оборудования (ПК-5). Объясните, как формируются временные ряды показателей температуры, вибрации и энергопотребления. Опишите способы агрегации данных по сменам, партиям изделий или типам оборудования.
15. Раскройте понятие «Озеро данных» (Data Lake) и его отличие от традиционных хранилищ данных (Data Warehouse) в промышленности. Объясните преимущества хранения неструктурированных данных телеметрии в исходном формате. Расскажите о роли «историков данных» (Data Historians) в накоплении временных рядов.
16. Опишите методы имитационного моделирования (Simulation Modeling) при создании цифровых двойников. Сравните дискретно-событийное моделирование, системную динамику и агентное моделирование. Укажите, какой подход лучше подходит для оптимизации логистических потоков внутри цеха.
17. Раскройте принципы математического моделирования физических процессов (FEM/CAE) в составе цифрового

двойника. Объясните, как моделирование методом конечных элементов помогает предсказывать перегрев или механическую усталость детали. Опишите интеграцию физических моделей с данными реальной эксплуатации.

18. Охарактеризуйте гибридное моделирование, объединяющее физические формулы и методы машинного обучения. Объясните, как нейросети могут аппроксимировать сложные физические расчеты для ускорения работы двойника. Приведите пример использования суррогатных моделей для работы в режиме реального времени.

19. Опишите этапы проектирования концепции автоматизированной системы на основе цифровых двойников (ПК-9). Объясните, как формулируются функциональные требования и техническое задание на разработку. Расскажите о важности определения границ моделирования и уровня детализации на старте проекта.

20. Раскройте требования к интеграции цифрового двойника с корпоративными системами ERP и PLM. Объясните, как обеспечить двусторонний обмен данными о заказах, материалах и конструкторской документации. Опишите архитектурные подходы (ESB, микросервисы) для связывания разнородного ПО.

21. Охарактеризуйте состав технической и проектной документации для систем интеллектуального производства (ПК-9). Объясните назначение пояснительной записки, схемы функциональной структуры и описания информационного обеспечения. Укажите, какие стандарты (ГОСТ 34 серии) регламентируют документирование АСУ.

22. Опишите технологии виртуальной пусконаладки (Virtual Commissioning) оборудования. Объясните, как цифровой двойник позволяет отладить управляющие программы ПЛК до физического создания линии. Расскажите об экономической эффективности выявления ошибок логики управления на виртуальной модели.

23. Раскройте концепцию предиктивного обслуживания (Predictive Maintenance) на основе цифровых двойников. Объясните, как анализ трендов вибрации и температуры позволяет прогнозировать остаточный ресурс узлов. Сравните этот подход с реактивным (ремонт после поломки) и планово-предупредительным обслуживанием.

24. Опишите применение цифровых двойников для оптимизации энергопотребления предприятия. Объясните, как модель помогает находить режимы работы оборудования с минимальными удельными затратами энергии. Приведите примеры балансировки пиковых нагрузок с помощью виртуальной симуляции.

25. Охарактеризуйте использование цифровых теней (Digital Shadows) для мониторинга логистических цепочек. Объясните, как данные с RFID-меток и GPS-трекеров формируют цифровую карту движения сырья и готовой продукции. Расскажите о выявлении «узких мест» в складской логистике с помощью статистики перемещений.

26. Раскройте методы обеспечения кибербезопасности при внедрении интеллектуальных систем. Объясните риски несанкционированного доступа к управлению станками через цифровой двойник. Опишите концепцию «Security by Design» и сегментацию промышленных сетей.

27. Опишите применение технологий дополненной реальности (AR) в связке с цифровым двойником. Объясните, как AR-очки помогают оператору видеть скрытые параметры оборудования (температуру, давление) поверх реального объекта. Расскажите о сценариях использования AR для обучения персонала и удаленной помощи при ремонте.

28. Раскройте понятие онтологий и семантической интероперабельности в цифровых двойниках. Объясните, как формализованное описание знаний помогает разным системам «понимать» смысл передаваемых данных. Приведите пример использования стандарта AutomationML для обмена инженерными данными.

29. Охарактеризуйте методы верификации и валидации цифровых моделей. Объясните разницу между проверкой правильности построения модели (верификация) и её соответствия реальному объекту (валидация). Опишите статистические критерии оценки адекватности модели на основе исторических данных.

30. Опишите применение цифровых двойников для контроля качества продукции (Virtual Metrology). Объясните, как на основе параметров процесса можно рассчитать свойства изделия без физических измерений каждого экземпляра. Укажите, как это помогает сократить время цикла и затраты на лабораторные тесты.

31. Раскройте экономические аспекты внедрения цифровых двойников и расчет ROI. Объясните, за счет чего достигается экономия: сокращение простоев, уменьшение брака, ускорение вывода продукта на рынок. Опишите затраты на создание и поддержание актуальности цифровой модели.

32. Опишите роль статистических регистров и справочников оборудования при построении двойника (ПК-5). Объясните важность унификации наименований, кодов и единиц измерения для корректной сводки данных. Расскажите, как ведется учет изменений конфигурации оборудования в цифровом паспорте.

33. Охарактеризуйте технологии искусственного интеллекта для поиска аномалий в данных телеметрии. Объясните принципы обучения без учителя (Unsupervised Learning) для выявления нестандартного поведения машин. Приведите примеры визуализации аномалий для оператора.

34. Раскройте концепцию «Человек в контуре» (Human-in-the-loop) при работе с интеллектуальными системами. Объясните, почему финальное решение в критических ситуациях должно оставаться за оператором, а не алгоритмом. Опишите требования к интерфейсам цифровых двойников для снижения когнитивной нагрузки.

35. Опишите применение цифровых двойников в строительстве и эксплуатации зданий (BIM). Объясните связь между информационной моделью здания (BIM) и цифровым двойником на этапе эксплуатации. Расскажите об управлении климатом и безопасностью здания на основе данных сенсоров.

36. Раскройте этические и правовые проблемы интеллектуализации производства. Объясните вопросы принадлежности данных, генерируемых оборудованием (заказчик vs производитель станка). Опишите риски сокращения рабочих мест из-за автоматизации и необходимость переобучения персонала.

37. Опишите методы сценарного анализа «Что-если» (What-if analysis) с помощью цифрового двойника. Объясните, как моделирование аварийных ситуаций помогает подготовить планы реагирования без риска для реального производства. Приведите пример проверки влияния смены поставщика сырья на качество продукции.

38. Охарактеризуйте понятие жизненного цикла цифрового двойника. Объясните, как двойник эволюционирует вместе



**5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

Предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» (90 баллов и выше) – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» (75 - 90 баллов) – студент допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» (51 - 74 балла) – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» (50 баллов и ниже) – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Допуск к экзамену осуществляется на основании выполненных контрольных мероприятий. Оценка за дисциплину выставляется по итогам результатов экзамена.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Зайцев В. А.	Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством»: журнал	Электронная библиотека	Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2010
Л1.2	Сакулин В. П., Рыбакова Н. Н., Мельникова И. В.	Математическая статистика: специальные разделы высшей математики: учебное пособие	Электронная библиотека	Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2022
Л1.3	Максимова Ольга Владимировна	Математическая статистика и анализ данных (N 4442): учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2023

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	LMS MISIS	<a href="https://lk.misis.ru/ru/">https://lk.misis.ru/ru/</a>
----	-----------	---

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	LMS Moodle
П.2	MS Teams
П.3	Microsoft Office

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных**

И.1	Электронная библиотека IEEE Xplore (Стандарты и статьи по Digital Twins): <a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a>
И.2	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) — Каталог ГОСТ: <a href="https://www.rst.gov.ru">https://www.rst.gov.ru</a>
И.3	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <a href="https://www.elibrary.ru">https://www.elibrary.ru</a>
И.4	Портал TAdviser (Обзоры ИТ-систем в промышленности, IoT и цифровых двойников): <a href="https://www.tadviser.ru">https://www.tadviser.ru</a>
И.5	Официальный сайт международного консорциума Digital Twin Consortium: <a href="https://www.digitaltwinconsortium.org">https://www.digitaltwinconsortium.org</a>
И.6	Справочная система по имитационному моделированию AnyLogic: <a href="https://anylogic.ru">https://anylogic.ru</a>
И.7	База знаний и документация Siemens Xcelerator (MindSphere): <a href="https://plm.sw.siemens.com/en-US/">https://plm.sw.siemens.com/en-US/</a>
И.8	Платформа ISO Online Browsing Platform (Стандарты серии ISO 23247 для цифровых двойников): <a href="https://www.iso.org/obp">https://www.iso.org/obp</a>
И.9	Федеральная служба государственной статистики (Росстат): <a href="https://rosstat.gov.ru">https://rosstat.gov.ru</a>
И.10	Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: <a href="https://cyberleninka.ru">https://cyberleninka.ru</a>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ		
Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-1102	Компьютерный класс	Комплект учебной мебели на 30 рабочих мест, моноблоки для студентов (20 шт.), 1 маркерная доска, телевизор для презентаций, рабочее место для преподавателя с моноблоком (1 шт). Цифровой флипчарт (передвижной).
Б-1104	Компьютерный класс	Комплект учебной мебели на 30 рабочих мест, моноблоки для студентов (20 шт.), 1 маркерная доска, Телевизор для презентаций, рабочее место для преподавателя с моноблоком (1 шт).
Б-1117	Учебная аудитория	комплект учебной мебели на 42 рабочих мест, 1 компьютер для преподавателя, проектор + мультимедийный экран, 1 маркерная доска
Б-1134	Учебная аудитория (лекторий)	Комплект учебной мебели на 128 рабочих мест, проектор, экран, 1 Цифровой флипчарт (передвижной).
Читальный зал № 3 (Б)	Аудитория для самостоятельной работы	Комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Moodle

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
<p>1. Лекции и практические занятия проводятся с использованием компьютерной презентационной программы PowerPoint.</p> <p>2. Практические занятия проводятся с использованием кейсовых ситуаций.</p> <p>3. Текущий контроль, контрольные работы и зачет проводятся на основе использования специальных компьютерных программ тестирования знаний навыков и умений студентов.</p> <p>4. Для самостоятельной работы и текущего контроля в системе «смешанного обучения» студенты используют специальные базы данных (электронные учебники) в среде LMS Moodle по разработанным траекториям.</p> <p>5. Консультации по курсу проводятся с использованием e-mail и среды LMS Moodle</p> <p>6. Текущий контроль проводится в электронной форме на компьютерах в центре тестирования кафедры.</p>