

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А2 ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОИЗВОДСТВО РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	зач.
5	9	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	зач.
ВСЕГО		6	216	68	0	0	68	148	0	0	148	

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

год набора группы: 2026

Программу составил:

Кафедра А2 ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И _____
ПРОИЗВОДСТВО РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
Комаров Кирилл Аркадьевич, старший преподаватель

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А2 ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И
ПРОИЗВОДСТВО РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Заведующий кафедрой Ремшев Е.Ю., д.т.н., доц. _____

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Саваровский А.А., к.т.н. _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И
ТЕХНОЛОГИИ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-И1 — владеет технологиями и инструментами искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности

ПК-И2 — способен применять цифровые производственные системы в области профессиональной деятельности

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-И1

знания:

- основные концепции, архитектуру и жизненный цикл цифровых двойников
- методы искусственного интеллекта (машинное обучение, нейросети, генетические алгоритмы) и области их применения на различных этапах создания и эксплуатации цифровых двойников
- принципы сбора, предобработки и анализа больших данных, поступающих с сенсоров и IoT-устройств физического объекта для интеграции в ЦД
- Математические основы и алгоритмы, лежащие в основе моделей машинного обучения, используемых для прогнозирования поведения и оптимизации работы цифрового двойника;

умения:

- формулировать и формализовывать профессиональные задачи (прогнозирование отказов, оптимизация параметров, диагностика состояний), которые могут быть решены с помощью интеграции ИИ в цифровой двойник
- разрабатывать алгоритмы и выбирать подходящие модели ИИ для обработки данных в режиме реального времени
- обучать нейросетевые модели на исторических и синтезированных данных для создания предиктивных моделей поведения физического аналога.;

навыки:

- создания цифровых двойников, сочетающих классическое физико-математическое моделирование и data-driven подходы (модели ИИ).
- применения инструментов ИИ для обработки потоковых данных от цифрового двойника в масштабе реального времени.
- использования обученных моделей для предсказания остаточного ресурса (RUL) или возникновения нештатных ситуаций на реальном объекте..

ПК-И2

знания:

- методы выявления, формулирования и обоснования требований;
- методы моделирования устройства и функционирования ИТсистем/продуктов.;

умения:

- моделировать и описывать устройство и функционирование ИТсистем/продуктов, их частей, обеспечения и окружения;
- строить целостную модель текущей реальности или будущего, выявлять с ее помощью задачи для дальнейшего сбора информации.;;

навыки:

- навыками выявление и формализация целей заинтересованных сторон, проблем, решаемых построением системы;
- навыками управления исследования и анализа;
- навыки сбора и обработки данных от физического оборудования в реальном времени;
- навыки имитационного моделирования и проведения виртуальных испытаний производственных сценариев;
- навыки визуализации и интерпретации данных для поддержки принятия решений..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ И УПРАВЛЯЮЩИМИ СИСТЕМАМИ, МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПК-И1 — владеет технологиями и инструментами искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности
- ПК-И2 — способен применять цифровые производственные системы в области профессиональной деятельности

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Практические занятия		ПК-И1	ПК-И2
4	8	Раздел 1. Основы технологии цифрового двойника. Основы технологии цифрового двойника. Определение понятия цифрового двойника. История развития технологии. Принципы работы. цифрового двойника.	25	6	6	19	20	20
4	8	Раздел 2. Жизненный цикл изделия. Жизненный цикл изделия. Стадии жизненного цикла изделия. Применение цифровых двойников на различных этапах жизненного цикла. Концепция PLM в управлении жизненным циклом изделия.	39	14	14	25	25	25
4	8	Раздел 3. Процесс проектирования цифрового двойника. Методы сбора данных для создания цифрового двойника. Обработка и анализ данных. Моделирование и симуляция. процессов. Алгоритмы и методы прогнозирования.	44	14	14	30	20	20
Всего за 8 семестр			108	34	34	74	65	65
5	9	Раздел 4. Создание и реализация цифрового двойника. Выбор платформы и инструментов для создания. Управление данными и базами данных. Интеграция. Системы ИИ, различных систем и устройств. Тестирование и отладка. цифрового двойника.	79	24	24	55	20	20
5	9	Раздел 5. Применение и интеграция цифровых двойников. Медицина и здравоохранение. Производство и. промышленность. Транспорт и логистика. Городская. инфраструктура и умный город.	29	10	10	19	15	15
Всего за 9 семестр			108	34	34	74	35	35
Всего по дисциплине			216	68	68	148	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Основы технологии цифрового двойника.	Анализ технологических процессов в технических системах. Построение процессной модели и определение рисков в ТС	6
2	Раздел 2. Жизненный цикл изделия.	Подготовка к воркшопу по выбранной теме работы	6
3		Сбор и обработка данных для цифрового двойника	8
4	Раздел 3. Процесс проектирования цифрового двойника.	Создание и применение простого цифрового двойника для моделирования объекта	7
5		Проектирование и реализация алгоритмов моделирования объекта в цифровом двойнике	7
Всего за 8 семестр			34
6	Раздел 4. Создание и реализация цифрового двойника.	Разработка и валидация модели цифрового двойника с использованием инженерных симуляций и анализа данных	8
7		Разработка интерактивной визуализации цифрового двойника для управления и мониторинга объекта	8
8		Разработка модуля прогнозирования состояния с использованием ИИ	8
9	Раздел 5. Применение и интеграция цифровых двойников.	Подготовка к защите результатов разработки ЦД	5
10		Защита проектов	5
Всего за 9 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов

1	Раздел 1. Основы технологии цифрового двойника.	Формирование первого раздела итогового индивидуального задания в соответствии с тематикой выданного варианта	5
2		Подготовка реферата по развитию цифровых двойников и анализу определений от разных вендоров (Siemens, SAP, ANSYS, Gartner)	7
3		Подбор 3–5 существующих аналогов цифрового двойника в выбранной предметной области (по варианту). Оформить в виде таблицы сравнения (характеристики, технологии, ограничения).	7
4	Раздел 2. Жизненный цикл изделия.	Формирование второго раздела итогового индивидуального задания в соответствии с тематикой выданного варианта	5
5		Разработка функциональной модели (в нотации IDEF0 или BPMN) процесса «Управление жизненным циклом изделия» с акцентом на этап «Эксплуатация»	10
6		Составление перечня контролируемых параметров, датчиков, протоколов передачи и частоты съема данных на каждом этапе ЖЦ для конкретного изделия	10
7	Раздел 3. Процесс проектирования цифрового двойника.	Разработка математической модели в соответствии с тематикой выданного варианта	8
8		Разработка структурной схемы взаимодействия (Physical Object -> Data Layer -> Digital Model -> Feedback). Выбор стека технологий.	8
9		Разработка алгоритма синхронизации данных с реальным объектом	14
Всего за 8 семестр			74
10	Раздел 4. Создание и реализация цифрового двойника.	Создание упрощенного макета цифрового двойника.	5
11		Формирование отчета для индивидуального задания в соответствии с ГОСТ 7.32-2017	10
12		Формирование набора данных (Dataset): Сбор, очистка и предобработка данных, имитирующих поток с датчиков физического объекта	12
13		Реализация (на Python) модели машинного обучения для классификации состояний объекта	13
14		Разработка дашборда (Tableau, Power BI, Python Dash) для отображения состояния модели	15
15	Раздел 5. Применение и интеграция цифровых двойников.	Описание архитектуры ИИ-решения, обоснование выбора модели, анализ качества модели (метрики).	10
16		Подготовка презентации к защите. Презентация итоговой работы	9
Всего за 9 семестр			74

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8			ИПЗ		Отч. по ПЗ	ДР	ИПЗ		Отч. по ПЗ	ДР	ИПЗ		Отч. по ПЗ		ИПЗ	ДР	Отч. по ПЗ, зач.
9			ИПЗ			ДР	Отч. по ПЗ			ДР	ИПЗ		Отч. по ПЗ		Презент.	ДР	Презент., зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ИПЗ – индивидуальное практическое задание;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- Презент. – презентация;
- зач. – зачет;
- зач. – зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;

- индивидуальное практическое задание;
- отчет по практическому заданию;
- презентация.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Датчики и системы. М.: СенСиДат, 1999, эл. рес.
2. . Информационные системы управления производственной компанией. Москва: Юрайт, 2022, эл. рес.
3. А. А. Жданов. . Автономный искусственный интеллект. М.: Лаборатория знаний, 2020, эл. рес.
4. А. Л. Рыжко, А. И. Рыбников, Н. А. Рыжко. . Информационные системы управления производственной компанией. Москва: Юрайт, 2021, эл. рес.
5. В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. . Управление данными. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
6. В. И. Аверченков. . Автоматизация проектирования комплексных систем защиты информации. М.: Флинта, 2017, эл. рес.
7. В. И. Грекул, Г. Н. Денищенко, Н. Л. Коровкина. . Управление внедрением информационных систем. М.: Интернет-Ун-т Информ. Технол., 2008, 5 экз.
8. М. Н. Охочинский. . Организационно-технические системы и их элементы. СПб.: Инфо-Да, 2018, 8 экз.
9. Р. Г. Джексон. . Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2008, 45 экз.
10. С. С. Сосинская. . Представление знаний в информационной системе. Методы искусственного интеллекта и представления знаний. Старый Оскол: ТНТ, 2020, эл. рес.
11. Ю. Г. Карпов. . Model Checking. Верификация параллельных и распределённых программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010, 7 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. П. А. Созинов, Г. И. Андреев, А. Ю. Мушков. . Цифровые двойники. М.: Радиотехника, 2022, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки;
2. Моделирование и анализ информационных систем;
3. Научно-технические технологии;
4. Научно-методический журнал «Информатизация образования и науки».

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://www.iprbookshop.ru/57362.html> — IPR SMART / Автоматизация проектирования систем и средств управления;;
2. https://datafinder.ru/files/new4/digital_twin_book.pdf;
3. <https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/> — 403 Forbidden;
4. <https://www.iprbookshop.ru/118930.html> — IPR SMART / Математические модели цифровых двойников;;
5. <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1743087689512>;
6. <https://urait.ru/bcode/470887> — Хейфец А. Л. Инженерная 3D-компьютерная графика в 2 т. Том 1 — купить, читать онлайн. «Юрайт»;

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;

3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. Набор средств трансляции, компоновки, отладки и выполнения Python 3.x с интегрированной средой разработки IDLE.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Практические занятия:

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Набор средств трансляции, компоновки, отладки и выполнения Python 3.x с интегрированной средой разработки IDLE.

6.2. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению **24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А2 ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОИЗВОДСТВО РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-И1 владеет технологиями и инструментами искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности;

ПК-И2 способен применять цифровые производственные системы в области профессиональной деятельности.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теорией цифровых двойников - сбор и анализ данных, моделирование двойника реального объекта, диагностика и модификация цифрового двойника. Валидация данных.

Дисциплина изучает фундаментальные принципы, методы и технологии перевода традиционных производственных систем на качественно новый уровень за счет интеграции цифровых решений. В рамках курса рассматриваются такие ключевые направления, как внедрение IoT, облачных платформ, больших данных, искусственного интеллекта и роботизации для создания гибких, interconnected ("взаимосвязанных", "соединённых между собой" или "связанных между собой") "умных фабрик". Студенты осваивают подходы к управлению этим комплексным процессом, направленному на радикальное повышение эффективности, прозрачности и адаптивности всего жизненного цикла продукции.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание;
- отчет по практическому заданию;
- презентация.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **6 з.е., 216 ч**. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**68 ч.**), самостоятельная работа студента (**148 ч**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 148 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Основы технологии цифрового двойника.		
Формирование первого раздела итогового индивидуального задания в соответствии с тематикой выданного варианта	П. А. Созинов, Г. И. Андреев, А. Ю. Мушков. . Цифровые двойники: М.: Радиотехника, 2022 (1-2) . Информационные системы управления производственной компанией: Москва: Юрайт, 2022 (3-4)	5
Подготовка реферата по развитию цифровых двойников и анализу определений от разных вендоров (Siemens, SAP, ANSYS, Gartner)		7
Подбор 3–5 существующих аналогов цифрового двойника в выбранной предметной области (по варианту). Оформить в виде таблицы сравнения (характеристики, технологии, ограничения).		7
Итого по разделу 1		19
Раздел 2. Жизненный цикл изделия.		
Формирование второго раздела итогового индивидуального задания в соответствии с тематикой выданного варианта	А. Л. Рыжко, А. И. Рыбников, Н. А. Рыжко. . Информационные системы управления производственной компанией: Москва: Юрайт, 2021 (3-5)	5
Разработка функциональной модели (в нотации IDEF0 или BPMN) процесса «Управление жизненным циклом изделия» с акцентом на этап «Эксплуатация»		10
Составление перечня контролируемых параметров, датчиков, протоколов передачи и частоты съема данных на каждом этапе ЖЦ для конкретного изделия		10
Итого по разделу 2		25
Раздел 3. Процесс проектирования цифрового двойника.		
Разработка математической модели в соответствии с тематикой выданного варианта	. Датчики и системы: М.: СенСиДат, 1999 (1) В. И. Аверченков. . Автоматизация проектирования комплексных систем защиты информации: М.: Флинта, 2017 (1) М. Н. Охочинский. . Организационно-технические системы и их элементы: СПб.: Инфо-Да, 2018 (4) Р. Г. Джексон. . Новейшие датчики: М.: Техносфера, 2008 (3)	8
Разработка структурной схемы взаимодействия (Physical Object -> Data Layer -> Digital Model -> Feedback). Выбор стека технологий.		8
Разработка алгоритма синхронизации данных с реальным объектом		14
Итого по разделу 3		30
Раздел 4. Создание и реализация цифрового двойника.		

Создание упрощенного макета цифрового двойника.	В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. . Управление данными: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (3) Ю. Г. Карпов. . Model Checking. Верификация параллельных и распределённых программных систем: СПб.: БХВ-Петербург, 2010 (все) А. А. Жданов. . Автономный искусственный интеллект: М.: Лаборатория знаний, 2020 (1-4)	5
Формирование отчета для индивидуального задания в соответствии с ГОСТ 7.32-2017		10
Формирование набора данных (Dataset): Сбор, очистка и предобработка данных, имитирующих поток с датчиков физического объекта		12
Реализация (на Python) модели машинного обучения для классификации состояний объекта		13
Разработка дашборда (Tableau, Power BI, Python Dash) для отображения состояния модели		15
Итого по разделу 4		55
Раздел 5. Применение и интеграция цифровых двойников.		
Описание архитектуры ИИ-решения, обоснование выбора модели, анализ качества модели (метрики).	С. С. Сосинская. . Представление знаний в информационной системе. Методы искусственного интеллекта и представления знаний: Старый Оскол: ТНТ, 2020 (3) В. И. Грекул, Г. Н. Денищенко, Н. Л. Коровкина. . Управление внедрением информационных систем: М.: Интернет-Ун-т Информ. Технол., 2008 (2)	10
Подготовка презентации к защите. Презентация итоговой работы		9
Итого по разделу 5		19

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- индивидуальное практическое задание;
- отчет по практическому заданию;
- презентация;
- зачет;
- зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Индивидуальное практическое задание

Выполнение заданий согласно представленному плану этапов в работе (задания и этапы работы для каждого индивидуального задания выложены в курс Moodle). Выполнение всех заданий (кроме тех, что выполняются опционально)

Отчет по практическому заданию

Критерии оценки каждого отчета приведены в ЭИОС moodle, там же находятся шаблоны отчетов.

Презентация

Оформление презентации в соответствии с требованиями (требования располагаются в курсе Moodle) и содержание презентации отвечает поставленной задаче.

Зачет (семестр 8)

Основанием для получения зачета является наличие сданных индивидуальных работ и пройденного итогового тестирования.

Результат итогового тестирования $\geq 70\%$ - тест пройден

Результат итогового тестирования $< 70\%$ - тест не пройден

Тест представлен в УМК дисциплины.

Зачет (семестр 9)

Основанием для получения зачета является наличие защищенного проекта по презентации и пройденного итогового тестирования.

Результат итогового тестирования $\geq 70\%$ - тест пройден

Результат итогового тестирования $< 70\%$ - тест не пройден

Тест представлен в УМК дисциплины.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ПК-И1	ПК-И2	
4	8	Раздел 1. Основы технологии цифрового двойника.	25	6	6	19	20	20	Индивидуальное практическое задание, Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 2. Жизненный цикл изделия.	39	14	14	25	25	25	Индивидуальное практическое задание, Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 3. Процесс проектирования цифрового двойника.	44	14	14	30	20	20	Индивидуальное практическое задание, Отчет по практическому заданию
Всего за 8 семестр			108	34	34	74	65	65	
5	9	Раздел 4. Создание и реализация цифрового двойника.	79	24	24	55	20	20	Индивидуальное практическое задание, Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 5. Применение и интеграция цифровых двойников.	29	10	10	19	15	15	Индивидуальное практическое задание, Отчет по практическому заданию, Презентация
Всего за 9 семестр			108	34	34	74	35	35	
Всего по дисциплине			216	68	68	148	100	100	

Оценочные материалы по дисциплине ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ПК-И1 - владеет технологиями и инструментами искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности

№ 1 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность цикла работы цифрового двойника на производстве.

1. Получение данных с датчиков оборудования
2. Прогнозирование остаточного ресурса узлов
3. Анализ отклонений от нормальных параметров
4. Корректировка модели на основе новых данных
5. Принятие решения о техническом обслуживании

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Двойник компонента (например, подшипника ветряной турбины) — это цифровая модель отдельной части системы. Почему важно создавать такие двойники для критичных элементов, таких как двигатель или подшипник? Приведите не менее двух причин.

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Цифровой двойник организации — это комплексная модель, которая отражает причинно-следственные связи между производственными, экономическими, финансовыми и организационными процессами компании. Какие ключевые вычислительные методы и источники данных необходимо использовать для создания такого двойника, чтобы обеспечить его максимальную адекватность реальным бизнес-процессам? Опишите не менее трех методов/подходов и поясните, как каждый из них повышает точность модели.

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между типами цифровых двойников и их описаниями.

1	Двойник компонента	А Моделирует работу отдельной детали
2	Двойник объекта	Б Отражает взаимодействие нескольких объектов в рамках крупной инфраструктуры
3	Двойник системы	В Оптимизирует последовательность операций
4	Двойник процесса	Г Цифровая копия единичного изделия
		Д Используется исключительно для визуализации данных без анализа

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите этапы разработки цифрового двойника с выполняемыми действиями.

1	Сбор данных	А Сравнение прогнозов модели с реальными показателями датчиков.
2	Построение модели	Б Получение информации с

3 Валидация

4 Интеграция

В IoT-устройств и исторических баз данных.
Подключение модели к SCADA-системе для онлайн-мониторинга.
Разработка математических алгоритмов, описывающих физические процессы.
Г
Д Создание маркетингового отчета по продукту

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность этапов разработки цифрового двойника технической системы.

1. Валидация модели на реальных данных
2. Сбор данных с физического объекта
3. Интеграция с системой мониторинга
4. Построение математической модели
5. Визуализация результатов анализа

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Из чего чаще всего состоит IoT-сеть?

1. Шлюз
2. Маска сети
3. База данных
4. Облачные сервера

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выберите направление, в котором НЕ используются цифровые двойники:

1. Системное прогнозирование
2. Моделирование систем
3. Проектирование зданий
4. Взаимосовместимость активов

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

За что отвечает Edge computing?

1. обработку данных в целом
2. первичную обработку данных
3. вторичную обработку данных
4. нет правильного ответа

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой из перечисленных процессов является ключевым для обеспечения точности цифрового двойника промышленного оборудования?

1. Регулярное обновление программного интерфейса
2. Валидация модели на основе данных с датчиков реального оборудования
3. Увеличение частоты визуализации данных
4. Автоматическое отключение системы при обнаружении расхождений

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Особенности цифрового двойника организации:

1. ориентация на видение будущего
2. практичность
3. систематизация
4. удобство использования

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Специальные измерительные комплексы состоят из:

1. аналоговые датчики
2. АЦП
3. ЦАП
4. средства хранения данных

ПК-И2 - способен применять цифровые производственные системы в области профессиональной деятельности

№ 1 Прочитайте текст и установите последовательность

Вы работаете с цифровым двойником промышленного оборудования. Восстановите последовательность этапов его создания:

1. Разработка математической модели;
2. Сбор и анализ данных с физического объекта;
3. Интеграция с IoT-датчиками для обмена данными;
4. Валидация и калибровка модели;
5. Визуализация и настройка интерфейса для мониторинга.

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой этап внедрения системы ИИ в контур цифрового двойника является критически важным для обеспечения актуальности модели (отсутствия "дрейфа концепций")?

1. Сбор исторических данных для первоначального обучения модели.
2. Выбор архитектуры нейронной сети (количество слоев и нейронов).
3. Организация регулярного переобучения (Retraining) модели на новых данных.
4. Визуализация результатов предсказаний на дашборде.

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

При создании предиктивного цифрового двойника (для прогнозирования отказов оборудования) какой метод ИИ наиболее целесообразно применить, если размеченных данных об авариях крайне мало, но есть большой объем данных о нормальной работе?

1. Обучение с учителем (Supervised Learning) на основе имеющихся редких записей об отказах.
2. Обучение без учителя (Unsupervised Learning) для поиска аномалий в поведении.
3. Трансферное обучение (Transfer Learning) с использованием модели, обученной на датасете изображений ImageNet.
4. Глубокое обучение с подкреплением (Deep Reinforcement Learning).

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие типы цифровых двойников существуют?

1. компонентов, объектов, систем
2. компонентов, ресурсов, комплексов
3. комплексов, систем, технологий
4. компонентов, объектов, комплексов

№ 5 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Цифровой двойник станка показывает повышенный уровень вибрации, хотя реальное оборудование работает нормально. Как можно объяснить эту ситуацию?

№ 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

При сравнении данных цифрового двойника промышленного оборудования с показаниями реальных датчиков обнаружено расхождение в 5%. Какие факторы могли привести к такому несоответствию?

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте типы алгоритмов и их назначением:

1	Алгоритм выполнения задач по назначению	Задаёт условия и режимы, порядок и последовательность работы составных частей
2	Алгоритм функционирования	Описывает этапность или циклограмму работы комплекса в целом
3	Алгоритм оператора	Определяет внешний вид и дизайн интерфейса пользователя
4	Алгоритм ПО	Необходим для выполнения определенных действий человеком при работе с изделием
		Последовательность арифметических и логических операций, производимых над информацией (с учетом априорной информации)

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте понятия с определениями:

1	Концепция	Конструирование, моделирование и технологическая обработка изделия
2	Разработка	Изготовление необходимого числа серийных экземпляров
3	Изготовление	Разработка концепции создания изделия путем

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Вы внедряете цифрового двойника в производственный процесс. Укажите последовательность действий:

1. Определение целей и задач использования цифрового двойника;
2. Выбор программно-аппаратной платформы;
3. Настройка автоматического обмена данными между физическим и цифровым объектом;
4. Обучение персонала работе с системой;
5. Тестирование и оптимизация работы двойника.

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из перечисленных барьеров являются наиболее существенными при интеграции модуля ИИ в существующую инфраструктуру промышленного цифрового двойника?

1. Высокая стоимость лицензий на офисное программное обеспечение.
2. Необходимость обеспечения кибербезопасности на стыке "ОТ-сеть" (промышленная сеть) и "ИТ-сеть" (корпоративная сеть).
3. Низкая вычислительная мощность промышленных контроллеров (PLC) на нижнем уровне (Edge).
4. Отсутствие сертифицированных преподавателей по ИИ в штате компании.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие преимущества дает использование "гибридного подхода" при построении цифрового двойника, то есть сочетание классических физико-математических моделей (First Principles) и моделей машинного обучения?

1. Полная автоматизация процесса проектирования без участия человека.
2. Возможность прогнозирования поведения в областях, где физическая модель работает с большой погрешностью (сложная турбулентность, износ).
3. Снижение требований к качеству исходных чертежей и конструкторской документации.
4. Ускорение расчетов за счет аппроксимации сложных физических процессов быстрыми нейросетями (суррогатное моделирование).

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Из каких компонент состоит программно-технологическая платформа?

1. Средство управления ПО
2. Средство управления проектами
3. Средство разработки
4. Средство проектирования