

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
базового высшего образования
по направлению подготовки
15.03.06 Мехатроника и робототехника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Цифровые двойники в промышленной робототехнике

Направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль): Автоматизация и роботизация
технологических процессов

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 610876
Подписал: заведующий кафедрой Григорьев Павел
Александрович
Дата: 10.06.2026

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью изучения дисциплины (модуля) является:

- изучение моделей, описывающих строение и функционирование производственных систем в контексте Индустрии 4.0;
- освоение технологий проектирования технических систем с учетом технологии цифровых двойников.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- получение комплексного представления о существующих подходах к созданию цифровых двойников промышленных робототехнических систем;
- формирование навыков анализа систем с целью создания цифровых двойников;
- формирование требований к аппаратной части и программному обеспечению цифровых двойников промышленных робототехнических комплексов;
- изучение современных тенденций в области создания цифровых двойников.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ПК-3 - Способен разрабатывать проектную, конструкторскую, эксплуатационную и программную документацию на системы управления, приводы и информационно-измерительные подсистемы автоматизированных и роботизированных технологических комплексов;

ПК-5 - Способен осуществлять руководство опытно-конструкторскими работами при проектировании и модернизации автоматизированных и роботизированных технологических комплексов и их компонентов.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- Основные понятия и этапы жизненного цикла цифрового двойника в робототехнических системах;
- Архитектуру цифрового двойника и принципы взаимодействия между его компонентами (аппаратными и программными);
- Современные технологии моделирования роботов и роботизированных ячеек (в том числе мультимодальное моделирование);

- Средства и методы передачи, обработки и хранения данных в цифровых двойниках, включая облачные и серверные решения;
- Принципы интеграции машинного зрения и сенсорных систем в цифровые двойники;
- Подходы к валидации, верификации и обеспечению информационной безопасности цифровых двойников;
- Принципы экономической оценки эффективности внедрения цифровых двойников и их роли в Индустрии 4.0.

Уметь:

- Проектировать архитектуру цифрового двойника робототехнической системы с использованием UML-нотаций;
- Подбирать и обосновывать выбор аппаратных компонентов для реализации цифровых двойников;
- Создавать модели роботов и их окружения в программной среде Gazebo;
- Организовывать сбор и передачу данных от физических компонентов к цифровому двойнику;
- Реализовывать интеграцию систем машинного зрения в цифровую модель роботизированной ячейки;
- Настраивать серверные и облачные платформы для размещения и взаимодействия цифрового двойника;
- Проводить верификацию моделей и анализировать соответствие цифрового двойника физическому объекту;
- Выполнять оценку экономической целесообразности внедрения цифрового двойника на производстве.

Владеть:

- Навыками моделирования и визуализации робототехнических систем и их цифровых двойников;
- Инструментами разработки и анализа архитектур цифровых двойников (UML, CAD, CAE, Gazebo и др.);
- Технологиями программирования передачи данных между компонентами цифрового двойника (включая микроконтроллеры и серверы);
- Методами интеграции цифровых двойников в производственные процессы и системы управления;
- Приемами обеспечения кибербезопасности цифровых двойников;
- Подходами к созданию цифровых двойников в рамках концепции Индустрии 4.0 и цифрового производства.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №9
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	48	48
В том числе:		
Занятия лекционного типа	16	16
Занятия семинарского типа	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 60 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Введение в цифровые двойники Рассматриваемые вопросы: - Понятие цифрового двойника и история его развития. - Области применения цифровых двойников в технике и промышленности. - Основные компоненты цифрового двойника.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
2	Архитектура цифровых двойников роботов Рассматриваемые вопросы: - Слои архитектуры цифрового двойника: от физического уровня до аналитического. - Связь между цифровым двойником и физическим роботом. - Примеры архитектурных решений в робототехнике.
3	Аппаратная часть цифровых двойников в робототехнике Рассматриваемые вопросы: - Сенсоры и исполнительные механизмы в цифровых двойниках. - Средства сбора и передачи данных с физических объектов. - Особенности взаимодействия аппаратной и цифровой среды.
4	Применение технического зрения в цифровых двойниках Рассматриваемые вопросы: - Принципы работы систем машинного зрения. - Обработка и анализ изображений для моделирования среды. - Использование технического зрения в управлении роботами.
5	Системы передачи данных в цифровых двойниках Рассматриваемые вопросы: - Протоколы и технологии передачи данных (MQTT, OPC UA и др.). - Требования к скорости, надежности и безопасности передачи данных. - Архитектура IoT-сетей в цифровых двойниках.
6	Серверная часть цифровых двойников Рассматриваемые вопросы: - Роль серверной инфраструктуры в функционировании двойников. - Хранение и обработка больших объемов данных. - Примеры реализации серверной части: локальные и облачные решения.
7	Облачные платформы для цифровых двойников Рассматриваемые вопросы: - Популярные облачные платформы (Azure Digital Twins, AWS IoT, Siemens MindSphere). - Преимущества и недостатки облачных решений. - Интеграция цифрового двойника с облачными сервисами.
8	Моделирование роботов в контексте цифровых двойников Рассматриваемые вопросы: - Основы создания виртуальных моделей роботов. - Использование CAD/CAE-средств в моделировании. - Связь между виртуальной и физической моделью.
9	Мультимодальное моделирование Рассматриваемые вопросы: - Понятие мультимодальности в моделировании. - Интеграция различных моделей: механических, программных, поведенческих. - Примеры мультимодальных моделей в цифровых двойниках.
10	Валидация и верификация моделей Рассматриваемые вопросы: - Отличия валидации и верификации. - Методы подтверждения корректности моделей цифровых двойников. - Практические кейсы валидации моделей в робототехнике.
11	Безопасность данных в цифровых двойниках Рассматриваемые вопросы: - Угрозы информационной безопасности в цифровых двойниках. - Методы защиты: шифрование, аутентификация, контроль доступа. - Регуляторные требования и стандарты (GDPR, ISO/IEC 27001 и др.).

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
12	Интеграция цифровых двойников роботов в управление производством Рассматриваемые вопросы: - Связь цифровых двойников с системами MES и ERP. - Управление производственными процессами в реальном времени. - Автоматизация и оптимизация с помощью цифровых двойников.
13	Экономический эффект цифровых двойников в робототехнике Рассматриваемые вопросы: - Анализ затрат на разработку и внедрение цифровых двойников. - Экономия ресурсов и повышение эффективности. - Оценка ROI и TCO цифрового двойника.
14	елирование роботизированных конвейеров Рассматриваемые вопросы: - Принципы моделирования логистических и производственных процессов. - Интеграция цифрового двойника с системой управления конвейером. - Оптимизация движения и распределения задач.
15	Цифровые двойники и Индустрия 4.0 Рассматриваемые вопросы: - Взаимосвязь цифровых двойников с концепцией Индустрии 4.0. - Роль цифровых двойников в умных фабриках. - Примеры реализованных решений на предприятиях.
16	Перспективы развития цифровых двойников в робототехнике Рассматриваемые вопросы: - Текущие тренды и прогнозы на будущее. - Влияние ИИ и машинного обучения на цифровые двойники. - Вызовы и направления дальнейших исследований.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Анализ жизненного цикла роботизированной ячейки В результате выполнения практического задания студенты изучат жизненный цикл роботизированной ячейки и создадут концепт цифрового двойника.
2	Создание архитектуры цифрового двойника В результате выполнения практического задания студенты создадут цифрового двойника робота в нотации UML.
3	Выбор аппаратной части для создания цифрового двойника робота В результате выполнения практического задания студенты выберут аппаратную часть цифрового двойника и напишут обоснование выбора.
4	Моделирование робота для цифрового двойника роботизированной ячейки В результате выполнения практического задания студенты в программном обеспечении Gazebo создадут модель роботизированной ячейки.
5	Моделирование окружения для цифрового двойника роботизированной ячейки В результате выполнения практического задания студенты в программном обеспечении Gazebo создадут модель роботизированной ячейки.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
6	Организация передачи данных о текущем состоянии робота В результате выполнения практического задания студенты запрограммируют систему для передачи данных от микроконтроллера на сервер.
7	Интеграция машинного зрения в цифрового двойника роботизированной ячейки В результате выполнения практического задания студенты запрограммируют систему для передачи данных от микроконтроллера на сервер.
8	Разработка серверной части цифрового двойника В результате выполнения практического задания студенты создадут базовый сервер для хранения и обработки данных цифрового двойника.
9	Развертывание цифрового двойника в облачной платформе В результате выполнения практического задания студенты развернут цифрового двойника на облачной платформе и настроят взаимодействие с удаленными источниками данных.
10	Мультимодальное моделирование поведения робота В результате выполнения практического задания студенты реализуют мультимодальную модель поведения робота с учетом физических и логических параметров.
11	Валидация и верификация цифрового двойника В результате выполнения практического задания студенты проведут проверку корректности модели цифрового двойника и сравнят ее поведение с физическим объектом.
12	Обеспечение безопасности данных цифрового двойника В результате выполнения практического задания студенты реализуют базовые меры защиты данных при передаче и хранении информации цифрового двойника.
13	Интеграция цифрового двойника в систему управления производством В результате выполнения практического задания студенты разработают прототип взаимодействия цифрового двойника с системой управления производственным процессом.
14	Оценка экономической эффективности цифрового двойника В результате выполнения практического задания студенты рассчитают основные экономические показатели (затраты, выгоды, ROI) цифрового двойника роботизированной ячейки.
15	Моделирование роботизированного конвейера в Gazebo В результате выполнения практического задания студенты создадут модель роботизированного конвейера в среде Gazebo и интегрируют ее с цифровым двойником.
16	Разработка концепции цифрового двойника для Индустрии 4.0 В результате выполнения практического задания студенты разработают концептуальную модель цифрового двойника, соответствующую требованиям Индустрии 4.0, и представят ее в виде презентации.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Изучение дополнительной литературы
2	Подготовка к практическим занятиям
3	Подготовка к промежуточной аттестации
4	Подготовка к текущему контролю
5	Выполнение курсовой работы.
6	Подготовка к промежуточной аттестации.
7	Подготовка к текущему контролю.

4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

- Проектирование цифрового двойника сварочного робота с интеграцией в MES-систему;
- Валидация цифрового двойника роботизированной ячейки в Gazebo;
- Разработка облачного цифрового двойника на платформе Azure Digital Twins;
- Интеграция машинного зрения в цифровой двойник для контроля качества продукции;
 - Оценка экономической эффективности цифрового двойника конвейерной линии;
 - Мультимодальное моделирование робота-погрузчика: механические и логические аспекты;
 - Защита данных цифрового двойника: шифрование и аутентификация по стандарту ISO 27001;
 - Создание цифрового двойника для прогнозирования износа промышленного робота;
 - Интеграция цифрового двойника с ERP-системой SAP;
 - Разработка цифрового двойника автономного складского робота;
 - Применение ИИ в цифровых двойниках для предсказательного обслуживания;
 - Сравнение Gazebo и коммерческих платформ (NVIDIA Omniverse) для цифровых двойников;
 - Цифровой двойник роботизированной сборочной линии: от CAD-модели до валидации;
 - Реализация кибербезопасности для цифрового двойника водородной станции;
 - Энергоэффективность цифровых двойников: оптимизация потребления ресурсов;
 - Разработка цифрового двойника для умного города: роботы-уборщики и логистика;
 - Цифровой двойник медицинского робота: симуляция хирургических операций;
 - Применение блокчейна для аудита данных в цифровых двойниках;
 - Моделирование аварийных сценариев на АЭС с использованием цифрового двойника;
 - Интеграция цифровых двойников с цифровыми фабриками Siemens (MindSphere).

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Преображенская, Е. В. Цифровые технологии в производстве. Создание виртуальной лаборатории : учебно-методическое пособие / Е. В. Преображенская, А. А. Лим. — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 72 с. — ISBN 978-5-7339-1988-1.	URL: https://e.lanbook.com/book/386243 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст электронный
2	Пселтис, Э. Д. Поточковая обработка данных. Конвейер реального времени / Э. Д. Пселтис ; перевод с английского А. А. Слинкин. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 218 с. — ISBN 978-5-97060-606-3.	URL: https://e.lanbook.com/book/105840 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст электронный
3	Джонатан, Л. Виртуальная реальность в Unity / Л. Джонатан ; перевод с английского Р. Н. Рагимов. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 316 с. — ISBN 978-5-97060-234-8.	URL: https://e.lanbook.com/book/93271 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст электронный
4	Турнецкая, Е. Л. Программная инженерия. Интеграционный подход к разработке : учебник для вузов / Е. Л. Турнецкая, А. В. Аграновский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50848-8.	URL: https://e.lanbook.com/book/480161 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст электронный

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (<https://www.miit.ru/>);

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru/>);

Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>);

Общие информационные, справочные и поисковые системы «Консультант Плюс», «Гарант»;

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com/>);

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Internet Explorer (или другой браузер);

Операционная система Microsoft Windows;
Microsoft Office;
VS Code;
Arduino IDE;
Ununtu;
ROS2.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 9 семестре.

Курсовая работа в 9 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

ассистент кафедры
«Робототехнические и
технологические комплексы на
транспорте»

А.А. Кочурков

заведующий кафедрой, доцент, к.н.
кафедры «Робототехнические и
технологические комплексы на
транспорте»

П.А. Григорьев

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

П.А. Григорьев

Председатель учебно-методической
комиссии

С.В. Володин