

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



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы бакалавриата  
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: 01.06.2025

## 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):

**ОПК-13** - Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.;

**ОПК-14** - Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.;

**ПК-2** - Способен производить комплексную настройку мехатронных и робототехнических систем, используя программное обеспечение контроллеров и управляющих ЭВМ, их систем управления .

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 №7
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
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 44 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	<b>Архитектура цифровых двойников роботов</b> Рассматриваемые вопросы: - Слои архитектуры цифрового двойника: от физического уровня до аналитического. - Связь между цифровым двойником и физическим роботом. - Примеры архитектурных решений в робототехнике.
3	<b>Аппаратная часть цифровых двойников в робототехнике</b> Рассматриваемые вопросы: - Сенсоры и исполнительные механизмы в цифровых двойниках. - Средства сбора и передачи данных с физических объектов. - Особенности взаимодействия аппаратной и цифровой среды.
4	<b>Применение технического зрения в цифровых двойниках</b> Рассматриваемые вопросы: - Принципы работы систем машинного зрения. - Обработка и анализ изображений для моделирования среды. - Использование технического зрения в управлении роботами.
5	<b>Системы передачи данных в цифровых двойниках</b> 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	<b>Серверная часть цифровых двойников</b> Рассматриваемые вопросы: - Роль серверной инфраструктуры в функционировании двойников. - Хранение и обработка больших объемов данных. - Примеры реализации серверной части: локальные и облачные решения.
7	<b>Облачные платформы для цифровых двойников</b> Рассматриваемые вопросы: - Популярные облачные платформы (Azure Digital Twins, AWS IoT, Siemens MindSphere). - Преимущества и недостатки облачных решений. - Интеграция цифрового двойника с облачными сервисами.
8	<b>Моделирование роботов в контексте цифровых двойников</b> Рассматриваемые вопросы: - Основы создания виртуальных моделей роботов. - Использование CAD/CAE-средств в моделировании. - Связь между виртуальной и физической моделью.
9	<b>Мультимодальное моделирование</b> Рассматриваемые вопросы: - Понятие мультимодальности в моделировании. - Интеграция различных моделей: механических, программных, поведенческих. - Примеры мультимодальных моделей в цифровых двойниках.
10	<b>Валидация и верификация моделей</b> Рассматриваемые вопросы: - Отличия валидации и верификации. - Методы подтверждения корректности моделей цифровых двойников. - Практические кейсы валидации моделей в робототехнике.
11	<b>Безопасность данных в цифровых двойниках</b> 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/386243">https://e.lanbook.com/book/386243</a> (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: <a href="https://e.lanbook.com/book/105840">https://e.lanbook.com/book/105840</a> (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: <a href="https://e.lanbook.com/book/93271">https://e.lanbook.com/book/93271</a> (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: <a href="https://e.lanbook.com/book/480161">https://e.lanbook.com/book/480161</a> (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:

Курсовая работа в 7 семестре.

Экзамен в 7 семестре.

10. Оценочные материалы.

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

Авторы:

ассистент кафедры «Наземные  
транспортно-технологические  
средства»

А.А. Кочурков

заведующий кафедрой, доцент, к.н.  
кафедры «Наземные транспортно-  
технологические средства»

П.А. Григорьев

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

П.А. Григорьев

Председатель учебно-методической  
комиссии

С.В. Володин