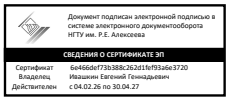
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Передовая инженерная школа атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (ПИШ)
(Полное и сокращенное название института, реализующего данное направление)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ПИШ
_____А.В. Тумасов
(подпись)
«01» мая 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.1.2 Технологии разработки цифровых двойников

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)
для подготовки магистров

Направление подготовки : 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность: Системный анализ и проектирование открытых информационных систем

Форма обучения: очная
Год начала подготовки 2026

Выпускающая кафедра ВСТ

Кафедра-разработчик ГИС

Объем дисциплины 108/3 часов/з.е

Промежуточная аттестация зачет

Разработчик: Филинских А.Д.., заведующий кафедрой ГИС, к.т.н., доцент

Нижний Новгород, 2026 г.

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19 сентября 2017 года № 918 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ

протокол от 22.01.26 № 26

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 24.03.2026 № 2

Зав. кафедрой к.т.н, доцент, Филинских А.Д _____
(подпись)

Программа рекомендована к утверждению Ученым советом ПИШ протокол от 30.04.2026 № 4

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ _____ № 09.04.01-са-22
Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ _____ Н.И. Кабанина
(подпись)

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ **3**

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ **4**

1.1. Цель освоения дисциплины: 4
1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля): 4

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ **4**

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) **4**

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ **7**

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам 7
4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам 8

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ **11**

5.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности 11
5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания 11

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ **14**

6.1. Учебная литература 14
6.2. Справочно-библиографическая литература. 14
6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям 14
6.3.1. Учебно-методическое пособие «Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине “Технологии разработки цифровых двойников”»: ..... ***Ошибка! Закладка не определена.***

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ **15**

7.1. Перечень информационных справочных систем 15
7.2. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины 15

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ **17**

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ **18**

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ **19**

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии 19
10.2. Методические указания для занятий лекционного типа 19
10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах 20
10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся 20

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ **21**

11.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости 21
11.1.1. Типовые задания для лабораторных работ *21*
11.1.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме экзамена *21*
11.1.3. Типовые тестовые задания для текущего контроля *22*

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель освоения дисциплины:

Целью освоения дисциплины является формирование системы теоретических знаний и практических навыков по созданию и эксплуатации цифровых двойников сложных технических систем, включая методы интеграции данных реального времени, имитационное моделирование и управление жизненным циклом объектов.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- Изучение методологии создания цифровых двойников;
- Освоение технологий синхронизации;
- Разработка математических и имитационных моделей;
- Организация среды хранения и обработки данных;
- Визуализация и предиктивная аналитика.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Технологии разработки цифровых двойников» включена в вариативную часть образовательной программы - Блок 1 (Б1.В.ДВ.1.2). Дисциплина изучается на 2 курсе в 1 семестре. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных в процессе обучения по программе бакалавриата, а также дисциплинах учебного плана: Цифровые двойники в атомной отрасли, Иммерсивные технологии, Методы имитационного моделирования.

Дисциплина «Технологии разработки цифровых двойников» является основополагающей для прохождения практик и написания выпускной-квалификационной работы.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Таблица 1. Формирование компетенций дисциплинам

ПК-4	Способен настраивать и администрировать аппаратно-программные платформы открытых информационных систем	Семестр
Б1.В.ДВ.1.2	Технологии разработки цифровых двойников	3
Б1.В.ДВ.2.2	Цифровые двойники в атомной отрасли	3
Б1.В.ОД.6	Иммерсивные технологии	3
ФТД.1	Администрирование Astra Linux	1
ФТД.3	Цифровая схемотехника	1
ФТД.4	Интегрированные измерительно-управляющие системы	3
Б2.П.4	Преддипломная	4
Б3.Д.1	Выполнение и защита ВКР	4

ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП

Таблица 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**			**Оценочные средства**	
					Текущего контроля	**Промежуточной аттестации**
ПК-4 Способен настраивать и администрировать аппаратно-программные платформы открытых информационных систем	ИПК-4.1. Настраивает и администрирует аппаратное обеспечение открытых информационных систем ИПК-4.2. Настраивает и администрирует программное обеспечение открытых информационных систем	**Знать:** — Технологии настройки систем моделирования 3D объектов, — Методы работы программ по созданию цифровых двойников; — Способы управления цифровыми двойниками и связи их с физическими объектами.	**Уметь:** – Настраивать программное и аппаратное обеспечение систем разработки цифровых двойников; – Визуализировать цифровые двойники.	**Трудовые действия (по ПС и ТФ 06.022 С/01.6):** – Выявление и формализация целей заинтересованных сторон, проблем, решаемых построением Системы, и рамок автоматизации	Отчеты по лабораторным работам, вопросы для контроля по лабораторным работам	Вопросы для устного собеседования: билеты (30 вопросов)

Профессиональный стандарт: 06.022 «Системный аналитик»

Вид проф.деятельности: Исследования и проектирование для координации создания информационно-технологических (далее - ИТ) систем и продуктов и управления ими

Цель проф.деятельности: Обеспечение соответствия ИТ-сервиса, автоматизированной системы, автоматизированной информационной системы, автоматизированной системы управления, программного, информационного продукта или средства (далее - Система) окружению, исходным требованиям и ограничениям, целям автоматизации и автоматизированной деятельности путем разработки и передачи качественных и взаимоувязанных проектных решений заинтересованным сторонам при запуске и координации работ отдельных исполнителей на всем жизненном цикле Системы

Трудовая функция(ПК-4): С «Концептуально-логическое проектирование Системы и сопровождение разработанных проектных решений»
Вид трудовой деятельности (ПК-4): С/01.6 Выявление требований к Системе и проектных решений по Системе

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. 108 часов, распределение часов по видам работ семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам для студентов очного обучения

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего час.	**В т.ч. по семестрам**
		3 сем
Формат изучения дисциплины	с использованием элементов электронного обучения	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	**108**	**108**
1. Контактная работа:	**55**	**55**
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	**51**	**51**
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. Занятия и др)		
лабораторные работы (ЛР)	34	34
1.2. **Внеаудиторная, в том числе**	**4**	**4**
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)		
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
2. Самостоятельная работа (СРС)	**53**	**53**
реферат/эссе (подготовка)		
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	53	53
Подготовка к экзамену (контроль)		

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4.1 - Содержание дисциплины, структурированное по темам для студентов очного обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
3 семестр									
ПК-4. ИПК-4.1 Настраивает и администрирует аппаратное обеспечение открытых информационных систем ИПК-4.2 Настраивает и администрирует аппаратное обеспечение открытых информационных систем	**Раздел 1.** Концепция и архитектура цифровых двойников								
	Лекция 1: Введение в технологии цифровых двойников	1			1	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лекция 2: Архитектура систем ЦД. Сбор данных, сетевое взаимодействие (IoT/IIoT), уровни обработки информации и интерфейсы взаимодействия	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лабораторная работа 1: Проектирование информационной структуры цифрового двойника. Определение набора параметров физического объекта для синхронизации с виртуальной моделью		4		4	Подготовка отчета по ЛР			
	Раздел 2. Платформы и инструменты разработки								
	Лекция 3: Обзор программного обеспечения: Unity как среда интеграции данных, CAD-системы и Blender для подготовки ассетов. Работа с Addressables для динамической загрузки моделей	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лекция 4: Протоколы обмена данными. Использование MQTT, HTTP и WebSocket для передачи телеметрии от датчиков в цифровую модель	2			2				
	Лабораторная работа 2: Подготовка и оптимизация высокополигональных инженерных моделей (CAD/Blender) для		6		6				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
	использования в real-time движках. Настройка импорта данных								
	Раздел 3. Программная реализация и логика ЦД на C#								
	Лекция 5: Разработка логики поведения цифрового двойника на языке C#. Обработка потоковых данных и визуализация состояний объекта в реальном времени	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2,			
	Лекция 6: Математическое и имитационное моделирование в составе ЦД. Настройка физики и алгоритмов прогнозирования износа/отказов	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лабораторная работа 3: Создание скриптовой системы на C# для управления компонентами цифрового двойника. Реализация индикаторов состояния на основе входных переменных		10		12	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Раздел 4. Интеграция, интерфейсы и аналитика								
	Лекция 7: Системы визуализации и Dashboards. Принципы построения интерфейсов управления (UI/UX) для мониторинга сложных систем	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лекция 8: Предиктивная аналитика и машинное обучение в цифровых двойниках. Использование исторических данных для моделирования сценариев «Что, если?»	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лекция 9: Тестирование, отладка и стратегии оптимизации производительности высоконагруженных моделей ЦД	2			2	Конспектирование и изучение литературы табл. 6.1 [1,3], 6.2			
	Лабораторная работа 4: Разработка комплексного цифрового двойника технического узла. Интеграция UI, логики C# и системы визуализации данных.		14		14	Подготовка отчета по ЛР			
	ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	**17**	**34**	**0**	**53**				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках Практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
	ИТОГО по дисциплине	**17**	**34**	**0**	**53**				

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

Текущий контроль осуществляется по всем видам учебного процесса: выполнение лабораторных работ по темам курса, устное собеседование при защите лабораторных работ.

Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачета предоставляется студентам в электронном виде.

Пример типового билета, содержащего два вопроса, для проведения промежуточной аттестации:

1. Определение и концепция цифрового двойника (Digital Twin). Отличие от имитационной модели.
2. Методы интеграции данных реального времени: использование протоколов MQTT и WebSocket.

5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине может применяться балльно-рейтинговая/традиционная система контроля и оценки успеваемости студентов.

В основу балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется в ходе текущего, промежуточного контроля и промежуточной аттестации знаний.

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания приведены в таблице 5.

Таблица 5

Шкала оценивания	**Экзамен**
40<R<=50	Отлично
30<R<=40	Хорошо
20<R<=30	Удовлетворительно
O<R<=20	Неудовлетворительно

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по системе «зачет», «незачет».

.

Таблица 6. Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**	**Критерии оценивания результатов обучения**			
		Оценка «неудовлетворительно»/ **«не зачтено»** 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / **«зачтено»** 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / **«зачтено»** 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / **«зачтено»** 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПК-4. Способен настраивать и администрировать аппаратно-программные платформы открытых информационных систем	ИПК-4.1 Настраивает и администрирует аппаратное обеспечение открытых информационных систем ИПК-4.2. Настраивает и администрирует программное обеспечение открытых информационных систем	Изложение учебного материала бессистемное; не освоены принципы создания цифровых двойников и интеграции данных; отсутствие навыков работы с ПО для связи физических и цифровых объектов; неумение делать выводы	Знания фрагментарные; изложение материала неполное, но не препятствует дальнейшему обучению; допускаются ошибки, исправляемые с помощью преподавателя; затруднения при технической настройке связи «объект-модель»	Знает материал на хорошем уровне; понимает задачи выбора оптимальных способов достижения целей проекта ЦД; имеет устойчивые навыки разработки цифровых двойников и настройки программного окружения	Глубокие системные знания всей структуры дисциплины; свободное владение инструментами C#, Unity и методами обработки данных реального времени; самостоятельное исправление единичных ошибок

Таблица 7. Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку **«отлично»** заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку **«хорошо»** заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку **«удовлетворительно»** заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку **«неудовлетворительно»** заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература

6.1.1. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. — М.: Альпина Паблишер, 2020. — 206 с.

6.1.2. Корнилов А. В. Unity. Полное руководство. — М.: Издательство "Наука и Техника", 2020. — 432 с.

6.1.3. Серова М. Н. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн Издательство "Наука и Техника"– М.: 2022– 272 с.

6.1.4. Иванова Г.С.Программирование : Учебник / Г.С. Иванова. - 4-е изд.,стер. - М. : Кнорус, 2017. - 426 с. : ил. - (Бакалавриат). - Библиогр.:с.426. - ISBN 978-5-406-05768-1 : 510-00.

6.1.5. Объектно-ориентированное программирование. Использование Windows Forms при решении инженерных задач : Учеб.пособие / А.Б. Лазарева, Т.Е. Эварт, А.Ф. Глухова; НГТУ им.Р.Е.Алексеева. - Н.Новгород : [Изд-во НГТУ], 2017. - 93 с. : ил. - Библиогр.:с.93. - ISBN 978-5-502-00888-4 : 154-00.

6.1.6. Моделирование в программной среде Blender: Метод.указания к выполн.лаб.работ по курсу "Графические информ.технол."для студ.направления 09.03.02 / НГТУ им.Р.Е.Алексеева, Каф."Графические информ.системы"; Сост.М.А.Малаканова, Н.В.Поспелова. - Н.Новгород: [Изд-во НГТУ], 2021. - 24 с. : ил. - 0-00.

6.1.7. Куприяновский В. П. и др. Цифровые двойники — на базе технологий BIM для управления жизненным циклом сложных объектов. — International Journal of Open Information Technologies, 2020..

6.2. Справочно-библиографическая литература.

6.2.1. Ларкович С.Н. Справочник UNITY. Кратко, быстро, под рукой – М.: Издательство "ДМК Пресс, 2020-288 с.

6.2.2. Кувшинов, Д. Р. Основы программирования: учебное пособие для вузов / Д. Р. Кувшинов. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 104 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07559-5. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/493460

6.2.3. ГОСТ Р 59138—2020. Умное производство. Двойники цифровые промышленных изделий. Общие положения. — М.: Стандартинформ, 2020.

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технологии разработки цифровых двойников» в электронном варианте отправляются на электронные адреса групп.

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень информационных справочных систем

Таблица 8. Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

7.2. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий по дисциплине:

1. Unity Hub + MQTT/WebSockets:
2. Blender
3. Visual Studio Code
4. Node-RED
5. PostgreSQL

Таблица 9. Программное обеспечение

Программное обеспечение, используемое в университете на договорной основе	Программное обеспечение свободного распространения
1	2
1. Microsoft Windows 7, MS SQL Server, Microsoft Visual Studio Professional (подписка DreamSpark Premium, договор № 0509/КМР от 15.10.18) 2. Dr.Web 2026 (с/н SRBK-Z197-67LX-4N3W до 02.06.2027 г.) 3. Microsoft Office Professional Plus 2010 (договор № Us000137от 30.07.12)	Adobe Reader, Blender, NetBeans IDE, Visual Studio Code, Unity Hub, Git, IntelliJ IDEA, Java SE Development kit 10, Opera, Google Chrome, Yandex browser, Mozilla Firefox, Notepad++, 7zip file manager, PostgreSQL, XAMPP, XnView.

Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

В таблице 10 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

В данном разделе могут быть приведены ресурсы (ссылки на сайты), на которых можно найти полезную для курса информацию, в т.ч. статистические или справочные данные, учебные материалы и т.д.

Таблица 10. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost //home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html
3	Инструменты и веб-ресурсы для веб-разработки – 100+	https://techblog.sdstudio.top/blog/instrumenty-i-veb-resursy-dlia-veb-razrabotki-100-plus

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 11 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» https://www.nntu.ru/sveden/accenv/

Таблица 11. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	2	3
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, состав которых определен в данном разделе.

Таблица 12. Оснащенность аудитории для самостоятельной работы студентов

№	Наименование аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	2	3	4
1	6564 Лаборатория иммерсивных технологий; г. Нижний Новгород, Казанское ш., 12 к.6	1. Компьютер для проведения лабораторных работ (i7 12700, RTX 3080, 16 GB ОЗУ) - 4 шт. 2. Компьютер разработчика (i7 12700, RTX 4080, 32 GB ОЗУ) - 4 шт. 3. Ноутбук HP Omen 16-c0057ur (Ryzen 7 5800H, 16GB, RTX 3070) в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету – 3 шт. 4. Комплект системы виртуальной реальности HTC Vive Pro, проводной – 4 шт. 5. Шлем виртуальной реальности HP Reverb G2, проводной - 2 шт. 6. Шлем виртуальной реальности Pico Neo 3 Pro, беспроводной – 2 шт. 7. Шлем виртуальной реальности Pico Neo 4, беспроводной – 2 шт. 8. Интерактивная панель 65'' INFOCUS JTOUCH D114 – 1 шт. 9. Телевизор LG 43'' 43UQ75006LFARUB – 5 шт. 10. Плоттер HP DesignJet – 1 шт. 11. 3D принтер R750-01 - 1 шт.	1. Microsoft Windows 10 (подписка DreamSpark Premium, договор № 0509/КМР от 15.10.18), Dr.Web 2026 (с/н SRBK-Z197-67LX-4N3W до 02.06.2027 г.), P7 office (С/н 5260001439), Adobe Acrobat Reader DC-Russian (Прориетарное ПО), 7-zip (Свободное ПО, GNU LGPL), Yandex Browser (свободное ПО), Unity Hub (Свободное ПО), Epic Games Store (Свободное ПО), SteamVR (Свободное ПО). Unreal Engine (Свободное ПО), Виртуальная лабораторная работа: Уран-графитовая и уран-водная сборки (Проприетарное ПО), Виртуальная лабораторная работа: Критический стенд "Годива" (Проприетарное ПО)

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная, а также сюда относится работа в электронной информационно-образовательной среде университета (далее - ЭИОС). В случае проведения части контактной работы по дисциплине в ЭИОС (в соответствии с расписанием учебных занятий), трудоемкость контактной работа в ЭИОС эквивалентна аудиторной работе.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

- балльно-рейтинговая технология оценивания;
- проблемно-развивающая технология, применяемая на лекционных занятиях.

При преподавании дисциплины «Технологии разработки цифровых двойников», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Весь лекционный материал курса сопровождается компьютерными презентациями, в которых наглядно преподносятся материал различных разделов курса и который дает возможность обсудить материал со студентами во время чтения лекций, активировать их деятельность при освоении материала. Электронные материалы лекций в период дистанционного обучения отправляются по электронной почте на адреса групп и могут быть получены до чтения лекций и проработаны студентами в ходе самостоятельной работы

На лекциях, лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, система ВКС Контур Толк.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопрос студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится комплексная оценка знаний, включающая:

- контрольные вопросы по лабораторным работам;
- разбор конкретных ситуаций;
- тестирование по различным разделам курса;
- зачет.

Промежуточная аттестация студентов представлена в форме курсового проекта и экзамена.

11.1.1. Типовые задания для лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Проектирование и импорт структуры цифрового двойника

Задание

Провести декомпозицию реального технического узла (например, электродвигателя или насоса) и составить таблицу соответствия физических датчиков виртуальным переменным в среде разработки.А

Результат: Оптимизированная модель с настроенным Pivot-point для анимации элементов.

Структура отчета:

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Ход работы.
4. Заключение.

Отчёт представить в виде файлов .docx и .pdf.

11.1.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме зачета

1. Определение понятия «Цифровой двойник» (Digital Twin) и его принципиальное отличие от статической 3D-модели.
2. Классификация цифровых двойников по стадиям жизненного цикла: прототип (DTP) и экземпляр (DTI).
3. Основные компоненты архитектуры цифрового двойника: физический объект, виртуальный объект и данные связи.
4. Понятие «Цифровая тень» и её роль в синхронизации физического и виртуального миров.
5. Технологии Интернета вещей (IoT) как фундамент для сбора данных в системах ЦД.
6. Протоколы передачи данных реального времени: особенности и применение MQTT в Unity.
7. Использование WebSockets для двустороннего обмена данными между сервером и цифровой моделью.
8. Этапы разработки цифрового двойника технического устройства.
9. Методы оптимизации инженерных CAD-моделей для визуализации в реальном времени (ретопология, запекание текстур).
10. Работа с ассетами и префабами в Unity при создании сложных сборок ЦД.
11. Роль и возможности системы Addressables для динамической загрузки компонентов модели.
12. Программная реализация логики ЦД: использование функций событий Unity (Update, FixedUpdate) для обработки потока данных.

13. Интеграция баз данных (например, PostgreSQL) для хранения истории состояний цифрового двойника.
14. Обработка исключений и валидация входящих данных в скриптах на C# для обеспечения отказоустойчивости ЦД.
15. Принципы проектирования интерфейсов оператора (Dashboards) для мониторинга промышленных объектов.
16. Визуализация состояний объекта: использование шейдеров и материалов для отображения физических процессов (нагрев, износ).
17. Имитационное моделирование в составе цифрового двойника: методы прогнозирования поведения системы.
18. Предиктивная аналитика: использование ЦД для определения остаточного ресурса оборудования.
19. Понятие «цифрового потока» (Digital Thread) и его связь с жизненным циклом изделия.
20. Проблемы информационной безопасности при передаче данных между физическим производством и виртуальной средой.
21. Масштабируемость систем цифровых двойников: работа с агрегированными двойниками (Digital Twin Aggregate).
22. Требования к производительности (Framerate) и оптимизация кода для бесперебойной визуализации ЦД.
23. Применение систем виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) как интерфейсов взаимодействия с цифровым двойником.
24. Особенности администрирования программно-аппаратных платформ, поддерживающих работу ЦД.
25. Методология тестирования цифровых двойников перед внедрением в эксплуатацию.
26. Роль стандартизации (например, ГОСТ Р) в области разработки промышленных цифровых двойников.
27. Интеграция ЦД с ERP и MES системами предприятия для автоматизации принятия решений.
28. Использование скриптов на C# для реализации физических взаимодействий компонентов внутри модели.
29. Различия в подходах к разработке ЦД для дискретных и непрерывных производственных процессов.
30. Перспективы развития технологий цифровых двойников: автономные двойники и искусственный интеллект.

11.1.3. Типовые тестовые задания для текущего контроля

1. Что является ключевым отличием Цифрового двойника (Digital Twin) от обычной имитационной модели?

- А) Наличие высококачественной 3D-визуализации.
- **Б) Наличие двусторонней автоматизированной связи с физическим объектом.**
- В) Использование только проприетарного программного обеспечения.

2. Как называется состояние системы, при котором данные передаются только от физического объекта к виртуальной модели без обратной связи?

- А) Цифровой двойник (Digital Twin).
- **Б) Цифровая тень (Digital Shadow).**
- В) Цифровая модель (Digital Model).

3. К какому типу относится цифровой двойник конкретного серийного номера двигателя, работающего на реальном стенде?

- А) Digital Twin Prototype (DTP) — Прототип.
- **Б) Digital Twin Instance (DTI) — Экземпляр.**
- В) Digital Twin Aggregate (DTA) — Агрегат.

4. Какой протокол наиболее предпочтителен для передачи данных с множества маломощных датчиков (IoT) в реальном времени?

- А) HTTP.
- Б) FTP.
- **В) MQTT.**

5. За что отвечает компонент «Брокер» в архитектуре передачи данных по протоколу MQTT?

- А) За визуализацию данных в Unity.
- **Б) За прием сообщений от издателей и их пересылку подписчикам.**
- В) За хранение истории данных в базе PostgreSQL.

6. Какая технология используется для создания «Цифровой нити» (Digital Thread)?

- **А) Объединение данных об объекте на всех этапах его жизненного цикла.**
- Б) Создание 3D-модели в редакторе Blender.
- В) Настройка освещения в виртуальной сцене.

7. Какую роль в разработке ЦД на базе Unity выполняет язык программирования C#?

- А) Используется только для создания графического интерфейса.
- **Б) Обработка входящих потоков данных, реализация математических моделей и логики поведения объекта.**
- В) Написание драйверов для видеокарты.

8. Что такое «Ретопология» в контексте подготовки инженерных моделей для ЦД?

- А) Процесс записи данных с датчиков.
- **Б) Оптимизация полигональной сетки модели для обеспечения высокой производительности визуализации.**
- В) Настройка сетевого соединения между ПК и сервером.

9. Для чего в системе цифрового двойника используется база данных (например, PostgreSQL)?

- А) Для отрисовки текстур.
- **Б) Для хранения истории состояний объекта и последующего предиктивного анализа.**
- В) Для управления шлемом виртуальной реальности.

10. Что описывает концепция «Физика в реальном времени» (Real-time Physics) в ЦД?

- **А) Расчет взаимодействия компонентов модели непосредственно в процессе их работы под нагрузкой извне.**
- Б) Заранее просчитанная анимация поломки.
- В) Настройка гравитации в виртуальной среде.

11. Какой метод в Unity наиболее подходит для постоянной проверки и обновления состояния ЦД на основе сетевых данных?

- А) Start().
- **Б) Update().**
- В) OnDestroy().

12. Что такое «Предиктивное обслуживание» (Predictive Maintenance)?

- А) Ремонт оборудования сразу после его поломки.
- **Б) Прогнозирование времени отказа оборудования на основе анализа данных его цифрового двойника.**
- В) Плановая замена деталей раз в год.

13. Какой инструмент используется для отладки и визуального контроля MQTT-топиков перед их интеграцией в Unity?

- А) Blender.
- **Б) MQTT Explorer.**
- В) Microsoft Word.

14. Что означает масштабируемость цифрового двойника?

- А) Возможность увеличить размер 3D-модели в два раза.
- **Б) Возможность системы обрабатывать данные от возрастающего количества подключенных объектов.**
- В) Изменение разрешения экрана монитора.

15. Какое программное обеспечение относится к отечественным платформам для имитационного моделирования?

- А) Unity.
- **Б) AnyLogic.**
- В) Visual Studio.

Регламент проведения текущего контроля в форме компьютерного тестирования

Кол-во заданий в банке вопросов	Кол-во заданий, предъявляемых студенту	Время на тестирование, мин.
не менее 30 или указывают конкретное количество тестовых заданий	10	10

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института:
_____ Мякиньков А.В.

“__ ”_____2025 г.

Лист актуализации рабочей программы дисциплины
«Б1.В.ДВ.1.2 Технологии разработки цифровых двойников»
индекс по учебному плану, наименование

для подготовки магистров
Направление: 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
Направленность: Системный анализ и проектирование открытых информационных систем
Форма обучения очная
Год начала подготовки: 2026

Курс 2
Семестр 1

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20__ г. начала подготовки.

Разработчик (и): Филинских А.Д., заведующий кафедрой ГИС, к.т.н., доцент
(ФИО, ученая степень, ученое звание) «__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ГИС
протокол № ___ от «___» _____ 20____г.

Заведующий кафедрой ГИС _____ Филинских А.Д.

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ГИС _____Филинских А.Д
«____»_____ 20____г.

Методический отдел УМУ:_____ «__» _____20_____ г.