МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет горно-металлургической промышленности и строительства
Кафедра горных энергомеханических систем

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора
по учебной работе
_____ Д.В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые двойники
(наименование дисциплины)

13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код, наименование направления)

Автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты
(профиль подготовки)

Квалификация магистр
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная
(очная, очно-заочная, заочная)

Алчевск, 2024

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины – формирование у магистрантов базовых знаний в области современных технологий разработки цифровых двойников пневмо- гидравлических систем и устройств (ПГСиУ), а также протекающих в них процессов для решения широкого спектра задач при проведении прикладных научных исследований, проектировании и эксплуатации.

Задачи изучения дисциплины:

- изучить методики сбора и анализа исходных данных для разработки цифрового двойника;
- овладеть навыками оценки матрицы MDT требований, целевых показателей и ресурсных ограничений;
- получить опыт разработки цифровых двойников производственных и технологических объектов.

Дисциплина направлена на формирование профессиональных компетенций (ПК-1) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – курс входит в Блок 1 «Дисциплины (модули)» (факультативные дисциплины) учебной программы подготовки магистров по направлению 13.04.03 Энергетическое машиностроение (магистерская программа «Автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты»).

Дисциплина реализуется кафедрой горной энергомеханики и оборудования. Основывается на базе дисциплин: Компьютерные технологии в науке и производстве; Моделирование физических процессов и объектов проектирования.

Является основой для изучения дисциплины Научно-исследовательская работа.

В процессе изучения дисциплины у магистранта формируются компетенции, необходимые для решения профессиональных задач деятельности, связанных с проведением прикладных научных исследований.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 ак. ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (18 ак. ч.) и практические (18 ак. ч.) занятия, а также самостоятельная работа студента (36 ак. ч.).

Дисциплина изучается на 1 курсе во 2-м семестре. Форма промежуточной аттестации – зачет.

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Цифровые двойники» направлен на формирование компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Вид (тип задач) профессиональной деятельности: научно-исследовательский		
Способен к организации научно-исследовательской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ПК-1	ПК-1.1. Определяет цели и задачи, разрабатывает методику проведения научно-исследовательских работ ПК-1.2. Обосновывает перечень технических средств измерения для выполнения научно-исследовательских работ ПК-1.3. Выполняет обработку и анализ результатов научно-исследовательских работ

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 2 зачётных единицы, 72 ак. ч.

Самостоятельная работа магистранта (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к лабораторным занятиям, текущему контролю, самостоятельное изучение материала и подготовку к зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак. ч.	Ак. ч. по семестрам
		2
Аудиторная работа, в том числе:	36	36
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	36	36
Подготовка к лекциям	8	8
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	8	8
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	-	-
Домашнее задание	-	-
Подготовка к контрольной работе	-	-
Подготовка к коллоквиуму	6	6
Аналитический информационный поиск	4	4
Работа в библиотеке	4	4
Подготовка к зачету	6	6
Промежуточная аттестация – зачет (З)	З (2)	З (2)
Общая трудоемкость дисциплины		
ак. ч.	72	72
з. е.	2	2

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенции ПК-1, приведенной в п. 3, дисциплина разбита на 3 темы:

– тема 1 (Введение. Цифровой двойник (ЦД) технического устройства);

– тема 2 (Инжиниринговые инструменты для создания ЦД);

– тема 3 (Цифровые двойники ПГСиУ).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной формы обучения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
1	Введение. Цифровой двойник (ЦД) технического устройства	Понятие и определение цифрового двойника (digital twin). Развитие (эволюция) и направления создания ЦД. Типы цифровых двойников и их классификация. Цель, задачи и область применения ЦД. Требования, предъявляемые к ЦД. Достоинства и недостатки ЦД. Уровни ЦД (4 уровня). Процесс создания ЦД. Жизненный цикл ЦД. Примеры реализации цифровых двойников. Положительный эффект от применения ЦД.	4	Постановка целей и задач разработки ЦД ПГСиУ и их элементов Разработка требований, предъявляемых к ЦД ПГСиУ и их элементам	4		
2	Инжиниринговые инструменты для создания ЦД	Программное обеспечение, необходимое для создания ЦД. Образующие ЦД технологии: IoT (интернет вещей), CAE/CAD/PLM (математические модели), Big Data, Cloud, VR/AR (визуализация). ЦД, облака и периферийные вычисления. ЦД и новые человеко-машинные интерфейсы. Схема ЦД и роль составляющих технологий	6	Применение технологий IoT, CAE/CAD/PLM, Big Data, Cloud, VR/AR при разработке ЦД ПГСиУ и их элементов	6	-	-

Продолжение таблицы 3

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
3	Цифровые двойники ПГСиУ	ЦД как способ преодоления сложности инженерных систем. Стратегии разработки ЦД ПГСиУ (от пилотного проекта до масштабирования технологии). Технология сбора, анализа и обработки цифровой информации для создания ЦД ПГСиУ. Технологии создания (математического моделирования) цифрового двойника ПГСиУ. Роль ЦД ПГСиУ в процессе прогнозирования, принятия решений и оптимизации процессов. ЦД в среде моделирования МАРС. Полунатурное моделирование с ЦД в среде моделирования МАРС. ЦД и оптимизация изделия, аддитивные технологии. Методы оценки адекватности элементов цифрового двойника ПГСиУ. Метод оценки ЦД. Перспективы развития ЦД ПГСиУ	8	Разработка стратегий создания ЦД ПГСиУ и их элементов Разработка технологии сбора, анализа и обработки цифровой информации для создания ЦД ПГСиУ и их элементов Разработка технологии создания ЦД ПГСиУ и их элементов Разработка методов оценки адекватности ЦД ПГСиУ и их элементов	8	-	-

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf)) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ПК-1	Коллоквиумы	Комплект контролирующих материалов для коллоквиумов
	Зачет	Комплект контролирующих материалов для зачета

Всего по текущей работе в семестре магистрант может набрать 100 баллов, в том числе:

– устный опрос на коллоквиумах– всего 40 баллов;

– лабораторные работы – всего 60 баллов;

Зачет проставляется автоматически, если магистрант набрал в течение семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60 % от максимального.

Зачет по дисциплине проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает магистранта, во время зачетной недели он имеет право повысить итоговую оценку, отвечая на вопросы, приведенные в п.п. 6.4.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Домашнее задание

В качестве домашнего задания магистранты выполняют:

– работу по составлению конспекта изученного материала;

- подготовку к лабораторным работам.

6.3 Оценочные средства для самостоятельной работы, для текущего контроля успеваемости на коллоквиумах

Тема 1. Введение. Цифровой двойник (ЦД) технического устройства

1. Перечислите основные характеристики цифрового двойника объекта.

2. В какие годы была сформирована концепция цифрового двойника и как она развивалась?

3. Кто одним из первых ввел понятие цифрового двойника? Какая идея была заложена в самом начале?

4. Какие общие признаки в понятии цифрового двойника можно выделить у различных компаний?

5. Чем вызваны различия в понятиях цифрового двойника у различных компаний?

6. Какие типы цифровых двойников выделяются в различных концепциях? В чем их особенность и отличия?

7. Назовите отличия понятия цифрового двойника компании *Ansys* от понятий цифрового двойника других компаний.

8. Дайте определение верификации в контексте системного инжиниринга.

9. На какие вопросы отвечает валидация как понятие в контексте системного инжиниринга?

10. Приведите пример реализации цифрового двойника реального изделия.

11. Что такое жизненный цикл ЦД ПГСиУ?

12. Какие основные выгоды удается достичь за счет применения цифрового двойника?

13. Какие бизнес-выгоды (бизнес-преимущества) может получить предприятие с цифровым двойником оборудования или процесса?

14. В чем заключается масштабируемость цифрового двойника?

Тема 2. Инжиниринговые инструменты для создания ЦД

1. Перечислите основные технологии, образующие и дополняющие концепцию цифрового двойника.

2. Что такое CAD-, CAE- и PLM-программы?

3. Какую функцию CAE-программы могут выполнять в цифровом двойнике?

4. Опишите технологии Big Data и Cloud.

5. Для каких целей могут применяться технологии VR и AR в цифровых двойниках?

6. Какие требования предъявляются к аппаратной платформе для работы цифрового двойника?

7. Как осуществляется передача данных между реальной системой и цифровым двойником?

8. Как обеспечивается безопасность и защита данных в цифровом двойнике?

9. Какие существуют методы и алгоритмы для анализа данных в цифровом двойнике?

11. Какие требования предъявляются к интерфейсу взаимодействия с цифровым двойником?

12. Какие существуют стандарты разработки и использования цифровых двойников?

Тема 3. Цифровые двойники пневмо- гидросистем и установок (ПГСиУ)

1. Назовите цели и задачи применения цифровых двойников ПГСиУ.

2. Как осуществляется симуляция и моделирование процессов в ПГСиУ посредством ЦД?

3. Какие виды и форматы данных используются в цифровых двойниках ПГСиУ?

4. Какие показатели и метрики применяются для оценки эффективности цифрового двойника ПГСиУ?

5. Как поддерживается и и обновляется цифровой двойник ПГСиУ в процессе его эксплуатации?

6. Приведите варианты решаемых цифровым двойником задач на примере конкретных ПГСиУ.

7. Какие существуют системы сбора и анализа параметров работы ПГСиУ на объектах эксплуатации?

8. Перечислите параметры работы ПГСиУ, измеряемые при их эксплуатации, и укажите их возможное применение в ЦД.

9. В чем заключается разница между ЦД находящихся в эксплуатации ПГСиУ и вновь разрабатываемых?

10. Какую роль играют цифровые двойники ПГСиУ в процессе прогнозирования, принятия решений и оптимизации процессов?

11. Какие бизнес-приложения выполняются цифровым двойником ПГСиУ?

12. Какие перспективы и направления развития имеет технология цифрового двойника ПГСиУ?

6.4 Вопросы для зачета

Тема 1. Введение. Цифровой двойник (ЦД) технического устройства

1. Понятие цифрового двойника (digital twin).
2. Классификация цифровых двойников.
3. Цель, задачи и область применения ЦД.
4. Требования, предъявляемые к ЦД.
3. Основные преимущества применения цифровых двойников.
4. Данные и параметры, представленные в цифровом двойнике.
5. Этапы проектирования цифрового двойника.
6. Методы проектировании цифрового двойника.
8. Этапы создание и реализация цифрового двойника.
9. Алгоритмы разработки цифровых двойников.
11. Интеграция цифрового двойника с реальной системой или объектом.
12. Цифровые двойники интеграция с системами искусственного интеллекта.
13. Показатели и метрики для оценки эффективности цифрового двойника.
14. Поддержка и обновление цифрового двойника в процессе его эксплуатации.
15. Роль цифрового двойника в процессе принятия решений и оптимизации процессов.

Тема 2. Инжиниринговые инструменты для создания ЦД

1. Инструменты проектировании цифрового двойника.
2. Программное обеспечение, необходимое для создания ЦД.
3. Образующие ЦД технологии: IoT (интернет вещей), CAE/CAD/PLM (математические модели), Big Data, Cloud, VR/AR (визуализация).
4. ЦД, облака и периферийные вычисления.
5. ЦД и новые человеко-машинные интерфейсы.
6. Требования к аппаратной платформе для работы цифрового двойника.
7. Требования к интерфейсу взаимодействия объекта с цифровым двойником.
8. Стандарты разработки и использовании цифровых двойников.
9. Передача данных между реальной системой и цифровым двойником.
10. Безопасность и защита данных в цифровом двойнике.
11. Методы и алгоритмы анализа данных в цифровом двойнике.
12. Цифровой двойник: симуляции и моделирования процессов.
13. Масштабируемость цифрового двойника.

Тема 3. Цифровые двойники пневмо- гидросистем и установок (ПГСиУ)

1. Стратегии разработки ЦД ПГСиУ (от пилотного проекта до масштабирования технологии).

2. Технология сбора, анализа и обработки цифровой информации для создания ЦД ПГСиУ.

3. Виды и форматы данных, используемых в цифровом двойнике ПГСиУ.

4. Технологии создания (математического моделирования) цифрового двойника ПГСиУ.

5. ЦД ПГСиУ в среде моделирования МАРС.

6. Полунатурное моделирование с ЦД в среде моделирования МАРС.

7. ЦД и оптимизация изделия, аддитивные технологии.

8. Методы оценки адекватности элементов цифрового двойника ПГСиУ.

9. Метод оценки ЦД ПГСиУ.

6.5 Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Дмитриев, В.М. Цифровые двойники: учебное пособие / В.М. Дмитриев [и др.] – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 88 с.

2. Пенский, О.Г. Математические модели цифровых двойников: учебное пособие / Пенский О.Г. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. — 156 с. — ISBN 978-5-7944-3267-1. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/118930.html (дата обращения: 29.12.2023). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей.

.

Дополнительная литература

1. Блинов, В. Л. Цифровые двойники турбомашин: учебное пособие / В. Л. Блинов, С. В. Богданец; М-во науки и высш. образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 162 с.

2. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев, научн. редактор проф. Боровков А. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020 – 401 с.

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ: официальный сайт. — Алчевск. — URL: library.dstu.education. — Текст: электронный.
2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова: официальный сайт. — Белгород. — URL: http://ntb.bstu.ru/jirbis2/. — Текст: электронный.
3. Консультант студента: электронно-библиотечная система. — Москва. — URL: http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x. — Текст: электронный.
4. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red. — Текст: электронный.
5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: http://www.iprbookshop.ru/. — Текст: электронный.
6. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор): официальный сайт. — Москва. — https://www.gosnadzor.ru/. — Текст: электронный.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
Специальные помещения: Оборудование мультимедийной лекционной аудитории кафедры ГЭС: - посадочные места по количеству обучающихся; - рабочее место преподавателя; - технические средства обучения: проектор Multimedia Progector EPSON-S4.	ауд. 205 лабораторного корпуса
Компьютерный класс (25 посадочных мест), оборудованный учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС: Оборудование компьютерного класса каф. ГЭС: - ПТК Intel (Core) Qard, 2,5, DVD-RW, 500 ГБ, ОЗУ 3,25 ГБ, видеокарта NVIDIA GeForce 9500GT, LG Flatron W2443ISE, USD2, принтер HP laserit MP1005 MFP; - ПТК CELERON 2,5, DVD-RW, ЖД 400 ГБ, ОЗУ 2 ГБ, видеокарта NVIDIA GeForce 9500GT, LG Flatron W1943SE, принтер Canon Pixma MP150; - ПТК CELERON 1,1, 2,5, CD-R, ЖД 40 ГБ, ОЗУ 128 МБ, USB, видеокарта Radeon 64 МБ, LG Flatron F150; - ПТК CELERON 2,7, DVD-RW, ЖД 40 ГБ, ОЗУ 256 МБ, USB, видеокарта Radeon 64 МБ, LG Flatron F720B; - лабораторная мебель: столы, стулья для студентов (по количеству обучающихся), рабочее место преподавателя.	ауд. 216 в лабораторном корпусе

Лист согласования РПД

Разработал
проф. кафедры горных
энергомеханических систем_____ С.В. Корнеев
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

И.о. заведующий кафедрой _____ В.Ю. Доброногова
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания кафедры
горных энергомеханических систем от 31. 08. 2024г.

Декан факультета _____ О.В. Князьков
(подпись) (Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической
комиссии по направлению подготовки
13.04.03 Энергетическое машиностроение
магистерская программа «Автоматизированные
гидравлические и пневматические системы
и агрегаты» _____ В.Ю. Доброногова
(подпись) (Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра _____ О.А. Коваленко
(подпись) (Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	