

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Косенок Сергей Михайлович
Должность: ректор
Дата подписания: 20.06.2025 06:52:26
Уникальный программный ключ:
e3a68f3eaa1e62674b54f4998099d3d6bfdcf836

Сектор Управления качеством образования
Ханты-Мансийского автономного округа-Югры
"Сургутский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УМР

_____ Е.В. Коновалова

11 июня 2025г., протокол УМС №5

Цифровые двойники изделий рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Экспериментальной физики**

Учебный план g030402-ЦифрТех-24-2.plx
Направление 03.04.02 Физика
Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике

Квалификация **Магистр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **2 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 72
в том числе:
аудиторные занятия 24
самостоятельная работа 21
часов на контроль 27

Виды контроля в семестрах:
экзамены 4

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
	6 4/6			
Неделя	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Практические	8	8	8	8
Итого ауд.	24	24	24	24
Контактная работа	24	24	24	24
Сам. работа	21	21	21	21
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	72	72	72	72

Программу составил(и):

к.ф.-м.н, Доцент, Сысоев Сергей Михайлович

Рабочая программа дисциплины

Цифровые двойники изделий

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - магистратура по направлению подготовки 03.04.02 Физика (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 914)

составлена на основании учебного плана:

Направление 03.04.02 Физика

Направленность (профиль): Цифровые технологии в геофизике

утвержденного учебно-методическим советом вуза от 11.06.2025 протокол № 5.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Экспериментальной физики

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор Ельников Андрей Владимирович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Формирование новых знаний и компетенций в области разработки цифровых двойников изделий в высокотехнологической промышленности;
1.2	Владение понятийно-терминологическим аппаратом по тематике цифровых двойников изделий;
1.3	Формирование способности к критическому восприятию концепций и подходов к созданию цифровых двойников;
1.4	Развитие способности использовать полученные знания в ходе разработки и реализации корпоративных стратегий цифровой трансформации;
1.5	Понимание эффективности использования и перспектив развития цифровых двойников изделий в высокотехнологической промышленности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.ДВ.01
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Введение в технологию блокчейн
2.1.2	Вычислительная физика и компьютерный инжиниринг
2.1.3	Технологии фабрик будущего
2.1.4	Компьютерный инжиниринг в цифровом проектировании и производстве
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ПК-4.2: Применяет математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования для геофизических задач

ПК-4.3: Выполняет проекты и инженерные расчеты на проведение скважинных геофизических исследований на основе новейших технологических процессов
--

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	основные подходы к определению понятия и термина «цифровой двойник»;
3.1.2	основы разработки, верификации и валидации математических, компьютерных и цифровых моделей;
3.1.3	порядок формирования многоуровневой системы требований к изделию;
3.1.4	основы проведения цифровых (виртуальных) испытаний изделия при помощи цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов на программно-технологической платформе (цифровой платформе);
3.1.5	особенности обеспечения двусторонних информационных связей цифрового двойника с изделием.
3.2	Уметь:
3.2.1	осуществлять научно-исследовательскую деятельность, используя современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)						
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Примечание
	Раздел 1. Подходы к определению понятия "цифровой двойник"					

1.1	Концепция цифровых двойников Глобальный контекст развития цифровых двойников, актуальность данной технологии. Система уровней цифровых двойников или объекты применения цифровых двойников: изделие, физические и механические процессы, технологические процессы, производство (цех), предприятие (цепочка поставок и сопровождение продукции. Применение цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла. /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
1.2	Система уровней цифровых двойников или объекты применения цифровых двойников: изделие, физические и механические процессы, технологические процессы, производство (цех), предприятие (цепочка поставок и сопровождение продукции. Применение цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э7 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
1.3	Основные подходы к определению понятия «цифровой двойник» /Лек/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э5 Э7 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
1.4	Варианты подходов к определению цифровых двойников. Примеры определений и объяснений цифровых двойников (в т.ч. подход Майкла Гривса и др.). /Пр/	4	0,5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э7 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
1.5	Концепция цифровых двойников изделий Эволюция парадигмы. Смещение «центра тяжести» на стадию разработки. Определение и классификация изделий из ГОСТ. Система, системный анализ и подход. Формирование и применение МВБЕ-подхода. Многоуровневая система требований. Цифровая модель изделия - агрегатор всех знаний и данных о создаваемом продукте. Схема компонентов цифрового двойника изделия. /Лек/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
1.6	Определение и классификация изделий из ГОСТ. Система, системный анализ и подход. Формирование и применение МВБЕ-подхода. Многоуровневая система требований. /Пр/	4	0,5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	

1.7	Концепция цифровых двойников Глобальный контекст развития цифровых двойников, актуальность данной технологии. Система уровней цифровых двойников или объекты применения цифровых двойников: изделие, физические и механические процессы, технологические процессы, производство (цех), предприятие (цепочка поставок и сопровождение продукции. Применение цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла. /Ср/	4	5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
Раздел 2. Математическое и компьютерное моделирование						
2.1	Математические и компьютерные модели. Мультидисциплинарные модели. Адекватность моделей /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
2.2	Разнообразие моделей (схема описание): информационная, имитационная, математическая, компьютерная, линейные, детерминированные и т.д. Определения математической модели и компьютерной модели из ГОСТ. Особенности процесса моделирования, дискретизированных моделей. Схема этапов моделирования. Описание мультидисциплинарных моделей. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э6 Э7 Э8 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
2.3	Верификация моделей. Валидация моделей. Верификация и валидация программного обеспечения компьютерного моделирования /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
2.4	Определение из ГОСТ и других источников. Источники ошибок и погрешностей при моделировании. Методы верификации модели. Отличия верификации от валидации. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
2.5	Математическое и компьютерное моделирование /Ср/	4	5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
Раздел 3. Элементы и инструменты разработки цифровых двойников изделий						

3.1	Многоуровневая система требований. Цифровые (виртуальные) испытания. /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.2	Определение требований и целевых показателей, описание преимуществ. Описание требований и участников процесса формирования многоуровневой системы требований. Наглядный пример многоуровневой системы требований. Описание процесса установления взаимосвязей параметров моделей. Рассмотрение вопроса о балансировке показателей. Виды испытаний. Значимость и преимущества цифровых (виртуальных) испытаний. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.3	Цифровые (виртуальные) испытательные стенды и полигоны /Лек/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.4	Определения физического стенда и полигона. Определения цифрового (виртуального) испытательного стенда и полигона из ГОСТ. Преимущества и наглядные примеры цифрового (виртуального) испытательного стенда и цифрового (виртуального) испытательного полигона. /Пр/	4	0,5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.5	Программно-технологическая платформа цифровых двойников /Лек/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.6	Определение и описание/архитектура. Варианты подобных платформ (отличия, в т.ч. от PLM, PDM). Платформа CML-Bench. /Пр/	4	0,5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э5 Э7 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
3.7	Элементы и инструменты разработки цифровых двойников изделий /Ср/	4	6	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17
	Раздел 4. Цифровые двойники изделий				

4.1	Цифровая модель изделия. Определение из ГОСТ. Ключевые компоненты цифровой модели изделия (математическая модель и компьютерная модель, электронные документы, цифровые (виртуальные) испытания). Отличия цифрового двойника изделия от математической модели и от компьютерной модели. В какой момент цифровая модель изделия становится цифровым двойником изделия. Двусторонние информационные связи. /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э8 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
4.2	Определение и описание, в т.ч. определение и классификация датчиков. Двусторонние связи на разных этапах жизненного цикла изделия. Наглядные примеры реализации промышленного интернета вещей. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
4.3	Цифровые двойники для вновь разрабатываемых и эксплуатируемых изделий. Перспективы развития цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности /Лек/	4	2	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э8 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
4.4	Особенности создания цифрового двойника на разных стадиях жизненного цикла изделия, отличие цифрового двойника для вновь разрабатываемого изделия от цифрового двойника для уже созданного и эксплуатируемого изделия. Методики построения. Преимущества разработки цифровых двойников изделий. Примеры реализации цифровых двойников изделий. /Пр/	4	1	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э6 Э9 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
4.5	Цифровые двойники изделий /Ср/	4	5	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.3Л3.2 Э1 Э2 Э4 Э8 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	
4.6	/Контр.раб./	4	0	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3	
4.7	/Экзамен/	4	27	ПК-4.2 ПК-4.3	Л1.3Л2.1 Л2.3 Э1 Э2 Э4 Э10 Э11 Э12 Э13 Э14 Э15 Э16 Э17	

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

5.1. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Представлены отдельным документом

5.2. Оценочные материалы для диагностического тестирования

Представлены отдельным документом

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)				
6.1. Рекомендуемая литература				
6.1.1. Основная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л1.1	Пенский, О. Г.	Математические модели цифровых двойников: учебное пособие	Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019, электронный ресурс	1
Л1.2	Гужилкин В. И., Петров С. М., Подгорнова Н. М., Лукин Н. Д.	Научные основы информационно-моделирующих систем в науке, образовании, технологии продуктов питания: учебное пособие для вузов	Санкт-Петербург: Лань, 2023, электронный ресурс	1
Л1.3	Истягина Е.Б., Пьяных А.А., Пьяных Т.А.	Математическое моделирование: Учебное пособие	Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022, электронный ресурс	1
6.1.2. Дополнительная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л2.1	Пискажова Т.В., Донцова Т.В.	Математическое моделирование объектов и систем управления: Учебное пособие	Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020, электронный ресурс	1
Л2.2	Гусев, С. А., Куверин, И. Ю., Гусева, И. А.	Цифровые двойники в области автомобильного транспорта: учебное пособие	Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2023, электронный ресурс	1
Л2.3	Рейзлин В. И.	Математическое моделирование: учебное пособие для вузов	Москва: Юрайт, 2024, электронный ресурс	1
6.1.3. Методические разработки				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
Л3.1	Кузнецов В. В., Бабуров С. В., Переломов В. Н., Самойлов А. В., Шатраков А. Ю.	Системный анализ: Учебник и практикум для вузов	Москва: Юрайт, 2022, электронный ресурс	1

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Колич-во
ЛЗ.2	Дмитренко А.В.	Математическое моделирование: Учебно-методическая литература	Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 2018, электронный ресурс	1
6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"				
Э1	Боровков А.И., Рябов Ю.А.	Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» // Цифровая подстанция. - 2019. - № 12. - С. 20-25.: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/		
Э2	Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А.	Типологизация цифровых двойников (Digital Twins) // Кластеризация цифровой экономики: Глобальные вызовы: сборник трудов национальной научно-практической конференции: в 2 т. / под ред. Д.Г. Родионова и А.В. Бабкина. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. - Т. 2. - С. 473-482.: https://assets.fea.ru/		
Э3	Боровков А.И., Рябов Ю.А., Марусева В.М.	Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии / МШУ СКОЛКОВО. - 2018. - С. 24-44.: https://assets.fea.m/uploads/fea/news/2018/04_april/12/cifroyoe-proizyodstyo-032018.pdf		
Э4		ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»: https://files.stroyinf.ru/Data/758/75810.pdf		
Э5		Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2012. - 93 с.: http://www.fea.ru/spaw2/uploads/files/		
Э6	Прохоров А., Лысачев М.	Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / под науч. ред. А.И. Боровкова. - М.: Альянсспринт, 2020. - 401 с.: https://digitalatom.ru/digital-twin-book		
Э7		Цифровые двойники: вопросы терминологии / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, Л.А. Щербина, А.А. Гамзикова. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. - 28 с.: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2022/01/14/Cifroye_dYoyniki_Voprosy_tenninologii.pdf		
Э8	Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А.	Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении // Neftegaz.Ru. - 2020. - № 6. - С. 30-36.: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2020/06_june/29/neftegaz-18-21.pdf		
Э9		ГОСТ Р 57188-2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения.: https://files.stroyinf.ru/Data/1/4293750/4293750870.pdf		
Э10		ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения.: https://files.stroyinf.ru/		
Э11		ГОСТ Р 57700.10-2018 «Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области.: https://files.stroyinf.ru/Data/663/66353.pdf		
Э12		ГОСТ Р 57700.14-2018 Численное моделирование физических процессов. Верификация получаемых сеточными методами численных решений задач механики сплошной среды.: https://files.stroyinf.ru/Data/663/66356.pdf		
Э13		ГОСТ Р 57700.2-2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения.: https://files.stroyinf.ru/Data/645/64529.pdf		
Э14		ГОСТ Р 57700.22-2020 Компьютерные модели и моделирование. Классификация.: https://files.stroyinf.ru/Data/741/74105.pdf		
Э15		ГОСТ Р 57700.23-2020 Компьютерные модели и моделирование. Валидация. Общие положения.: https://files.stroyinf.ru/Data/741/74106.pdf		
Э16		ГОСТ Р 57700.25-2020 Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации.: https://files.stroyinf.ru/Data/741/74121.pdf		

Э17	ГОСТ Р 57700.8-2018 Численное моделирование физических процессов. Численное моделирование дозвуковых течений вязких жидкостей и газов. Верификация ПО.: https://files.stroyinf.ru/Data/663/66391 .pdf
6.3.1 Перечень программного обеспечения	
6.3.1.1	применение инструментов MS Office (Word, Excel, Power Point);
6.3.1.2	онлайн-курс разработан на платформе "Открытое образование".
6.3.1.3	Технические средства обеспечения представлены по адресу: https://openedu.iTi/requirements/
6.3.2 Перечень информационных справочных систем	
6.3.2.1	поисковые системы Web of Science, PatSearch и базы данных Global Patent Index;
6.3.2.2	дистанционные образовательные технологии: платформа Moodle, сервисы Goggle-meet, Zoom;
6.3.2.3	применение электронного обучения,

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
7.1	Дисциплина реализуется посредством дистанционных образовательных технологий. Материалы дисциплины представлены в виде онлайн-курса, разработанного на платформе "Открытое образование". Технические требования представлены по адресу: https://openedu.iTi/requirements/