Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента образовательной деятельности
Дата подписания: 18.09.2025 13:31:49
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ / А.С. Соколов /

« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Цифровые двойники технологического оборудования»

Направление подготовки
15.04.02. Технологические машины и оборудование

Профиль
Промышленный инжиниринг

Квалификация
магистр
Форма обучения
очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):

Старший преподаватель каф. «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б.Генералова»,

к.т.н., доцент  /И.А.Буздалина/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б.Генералова»,

к.т.н.,  /А.С.Кирсанов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 5
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 5
3.2. Тематический план изучения дисциплины 7
3.3. Содержание дисциплины 14
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 19
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 21
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 21
4.2. Основная литература 21
4.3. Дополнительная литература 22
4.4. Электронные образовательные ресурсы 23
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 23
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 23
5. Материально-техническое обеспечение 24
6. Методические рекомендации 26
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 26
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 26
7. Фонд оценочных средств 27
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 27
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения 28
7.3. Оценочные средства 31
Приложение №1 34

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К **основным целям** дисциплины «Цифровые двойники технологического оборудования» следует отнести:

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой магистра по направлению, в том числе формирование умений по разработке эскизных, технических и рабочих проектов технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного пользования.
- формирование знаний о современных информационных технологиях стандартных средствах автоматизации проектирования, программных средствах общего и специального назначения.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих **задач**:

- применять знания о разработке эскизных, технических и рабочих проектов технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного

Обучение по дисциплине «Цифровые двойники технологического оборудования» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1. Способен разрабатывать и адаптировать конструкции машиностроительных изделий с учетом требований к технологичности, ресурсной оптимизации под условия автоматизированного и роботизированного производства	ИПК- 1.1 Применяет современные методы инженерного анализа для оптимизации конструкций ИПК- 1.2 Разрабатывает конструкции машиностроительных изделий, отвечающих требованиям технологичности и ресурсосбережению ИПК- 1.3 Использует специализированное программное обеспечение для проектирования и моделирования изделий и технологических процессов ИПК- 1.4 Анализирует конструкции изделий с целью достижение целевых характеристик, показателей качества, минимизации затрат и повышения функциональной эффективности ИПК- 1.5 Применяет технологии цифровых двойников и виртуального прототипирования для тестирования конструктивных решений ИПК- 1.6 Разрабатывает конструкторскую документацию с

	учетом требований регламентного производства
ПК-2.Способен обеспечивать технологичность конструкций машиностроительных изделий средней сложности в условиях автоматизированного производства	ИПК- 2.1 Использует современные системы для проектирования и моделирования технологических процессов, применяет цифровые двойники и виртуальное тестирование для оптимизации процессов ИПК- 2.2 Определяет потребность и необходимость в оптимизации технологических процессов в соответствии с целевыми задачами производства ИПК- 2.3 Анализирует конструкции изделий и выбирает оптимальные методы обработки, снижающие затраты и энергопотребление ИПК- 2.4 Интегрирует цифровых технологий организации производства в системы управления для повышения эффективности ИПК- 2.5 Использует искусственный интеллект, большие данные и предиктивную аналитику для корректировки производственных параметров технологические процессы изготовления машиностроительных изделий ИПК- 2.6 Анализирует технологическую и экономическую эффективность различных вариантов конструктивных решений ИПК- 2.7 Обеспечивает контроль всех параметров технологических процессов с использованием цифровых инструментов

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Цифровые двойники технологического оборудования» относится к числу учебных дисциплин обязательной части Блока 1 основной образовательной программы магистратуры.

«Цифровые двойники технологического оборудования» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

– Проектирование технологических производств и эксплуатация промышленных систем;

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			3	
1	**Аудиторные занятия**	**36**	36	
	В том числе:			
1	Лекции	18	18	
2	Семинарские/практические занятия	18	18	
3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**36**	36	
	В том числе:			
1	С использованием дистанционных образовательных технологий	36	36	
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/Экзамен		Зачет	
	Итого	**72**	72	

3.2 Тематический план изучения дисциплины
(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1.	Определение ЦД и эволюция термина.	**8**	2	2			4
2.	ЦД и эволюция составляющих технологий	8	2	2			4
3.	ЦД как способ преодоления сложности инженерных систем	8	2	2			4
4.	Типы ЦД и их классификация.	8	2	2			4
5.	ЦД на пике завышенных	**8**	2	2			4

	ожиданий.						
6.	Игроки рынка ЦД и варианты их ранжирования.	**8**	2	2			4
7.	Рассмотрение этапов создания ЦД.	**8**	2	2			4
8.	Перспективные направления использования цифровых двойников.	**8**	2	2			4
9.	Примеры использования ЦД в различных отраслях.	**8**	2	2			4
	Итого	**72**	**18**	**18**			**36**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Концепция, определения и классификация цифровых двойников.

Тема 1. Определение ЦД и эволюция термина. Тема

2. ЦД и эволюция составляющих технологий

Инжиниринговые инструменты для создания ЦД и их эволюция. ЦД и оптимизация изделия, аддитивные технологии. Технологии сбора и обработка данных для создания ЦД. Технологии математического моделирования и цифровых теней. ЦД, облака и периферийные вычисления. ЦД и новые человеко-машинные интерфейсы. Схема ЦД и их роль составляющих технологий

Тема 3. ЦД как способ преодоления сложности инженерных систем

ЦД и концепция MBSE. ЦД как интеграция этапов жизненного цикла изделия. Объединения ЦД в комплексных объектах и их взаимодействие.

Тема 4. Типы ЦД и их классификация.

Классификация ЦД по уровню сложности и по уровню зрелости. Другие виды классификации и обобщенная схема.

Раздел 2. Рынок цифровых двойников.

Тема 5. ЦД на пике завышенных ожиданий.

Тема 6. Игроки рынка ЦД и варианты их ранжирования.

Зарубежные и российские поставщики по для построения ЦД и комплексных решений класса ЦД.

Раздел 3. Процесс создания цифрового двойника

Тема 7. Рассмотрение этапов создания ЦД.

Исследования объекта. Моделирование цифровой копии объекта. Воплощение модели. Тестирование основных процессов работы на цифровом двойнике.

Запуск и наладка. Корректировка и развитие оригинального объекта или системы.

Раздел 4. Перспективы цифровых двойников.

Тема 8. Перспективные направления использования цифровых двойников.

Тема 9. Примеры использования ЦД в различных отраслях.

ЦД в транспортном машиностроении и на транспорте. ЦД в нефтегазовой отрасли. Применение ЦД в других областях.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практическое занятие 1. Ознакомление с цифровыми двойникам устройств или технологий.

Практическое занятие 2. Многоуровневое моделирование производственных систем и рассмотрение ПО при создании ЦД.

Практическое занятие 3. Моделирование на уровне технологической операции

Практическое занятие 4. Моделирование на уровне технологических процессов

Практическое занятие 5. Моделирование на уровне производственного процесса.

Практическое занятие 6. Переход к созданию цифрового двойника

Практическое занятие 7. Рассмотрения ПО программы SolidWorks

Практическое занятие 8. Создание моделей в SolidWorks

Практическое занятие 9. Создание сборки в SolidWorks

3.5 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 2.001-2013 – ГОСТ Р 2.901-99. Единая система конструкторской документации. Москва: Стандартинформ.

2. ГОСТ 3.1001-2011 – ГОСТ 3.1901-74. Единая система технологической документации. Москва: Стандартинформ.

3.6 Основная литература

1. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ. Тренды. Мировой опыт. 2020 г.- 404 с.

3.7 Дополнительная литература

1. Озеркин, Д.В. Altium Designer. SolidWorks. Часть 3. Топологическое проектирование. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ТУСУР, 2012. — 95 с. -http://e.lAanbook.com/book/11064
2. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химического и природоохранного оборудования. Учеб. Пособие.- М:Гос.ун-т инженер.экологии.,2006.-850с. Справочник (в 3 томах)

3.8 Электронные образовательные ресурсы

Не предусмотрено

3.9 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

- Microsoft Windows;
- Программное обеспечение Microsoft Office;
- Комплексная Система Антивирусной Защиты Kaspersky

3.10 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. https://elibrary.ru/ - Научная электронная библиотека
2. Портал Единое окно доступа к образовательным ресурсам http://window.edu.ru/
3. Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов. Электронная библиотечная система (ЭБС) https://urait.ru/

4. Материально-техническое обеспечение

Практические и семинарские занятия проводятся в лабораториях, в аудиториях 4408 или 4407 с демонстрацией работы лабораторных и научно-исследовательских установок и вспомогательного оборудования, что необходимо для более наглядного изучения дисциплины.

5. Методические рекомендации

5.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины «Цифровые двойники технологического оборудования» является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям по курсу необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия, определить средства материально-технического обеспечения лекционного занятия и порядок их использования в ходе чтения лекции. Уточнить план проведения практического занятия по теме лекции.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой

студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических занятий обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Изучение дисциплины завершается зачетом или экзаменом.

Преподаватель, принимающий зачет, лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

5.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовку к лекционным и семинарским (практическим) занятиям
- выполнение контрольных заданий
- подготовка к тестированию
- написание и защита реферата по предложенной теме.

Самостоятельная работа магистрантов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Магистрант должен помнить, что проводить самостоятельные занятия следует регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Не следует откладывать работу также из-за нерабочего настроения или отсутствия вдохновения. Настроение нужно создавать самому. Понимание необходимости выполнения работы, знание цели, осмысление перспективы благоприятно влияют на настроение.

Каждый магистрант должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Магистрант должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача магистранта. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

6. Фонд оценочных средств

6.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Студенты, обучающиеся по дисциплине «Цифровые двойники технологического оборудования» в основном и специальном отделениях и освоившие учебную программу, выполняют зачетные требования по проектированию технологических производств с соответствующей записью «зачтено/не зачтено» в зачетной ведомости.

Критерием успешности освоения учебного материала является экспертная оценка преподавателя, учитывающая регулярность посещения обязательных учебных занятий, и выполнение установленных практических работ.

6.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Цифровые двойники технологического оборудования» (выполнили все практические работы и прошли устный опрос.)

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

6.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Тематика практических работ изложены в пункте 3.4.

7.3.2.1. Промежуточная аттестация

7.3.2.2. Вопросы к экзамену по дисциплине «Цифровые двойники технологического оборудования»

1. Определение ЦД.
2. Инжиниринговые инструменты для создания ЦД
3. Схема ЦД
4. Объединения ЦД в комплексных объекта
5. Классификация ЦД по уровню сложности и по уровню зрелости
6. Этапы создания ЦД
7. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как исследования объекта
8. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как моделирование цифровой копии объекта.
9. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как воплощение модели.
10. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как тестирование основных процессов работы на цифровом двойнике.
11. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как запуск и наладка.
12. Расскажите подробно о таком этапе проектирования ЦД, как корректировка и развитие оригинального объекта или системы.
13. Приведите примеры использования ЦД в различных областях
14. Создание изделий с учетом специфики изготовления, оформление чертежей в системе автоматизированного конструирования SolidWorks.
15. Отличительные особенности процесса разработки деталей и сборок в системе автоматизированного конструирования SolidWorks.
16. Отличительные особенности процесса разработки деталей и сборок в системе автоматизированного конструирования SolidWorks.
17. Инструменты твердотельного моделирования системы SolidWorks.
18. Параметры в системе автоматизированного проектирования SolidWorks.

19. Добавление и редактирование крепежных деталей в сборке с помощью приложения
20. Визуализация сборки.
21. Построение базовой многотельной детали.
22. Конструирование основных узлов аппарата с помощью системы автоматизированного проектирования SolidWorks
23. Способ моделирования пересечения тел.
24. Способ моделирования связыванием.
25. Сопряжение деталей в файле сборки в системе автоматизированного конструирования SolidWorks.