Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор Департамента по образовательной политике
Дата подписания: 17.09.2025 15:24:16
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет Урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ /К.И. Лушин/

«27» февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Цифровые двойники изделий»

Направление подготовки
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль
«Интеллектуальные системы электрооборудования и промышленной электроники»

Квалификация
магистр

Формы обучения
очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):
Профессор кафедры «Электрооборудование
и промышленная электроника»,
к.т.н., доцент  /Р.А. Малеев/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Электрооборудование
и промышленная электроника»,
к.т.н., доцент  /А.Н. Шишков/

Руководитель образовательной программы,
к.т.н., доцент  /А.Н. Шишков/

Содержание

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине «Цифровые двойники изделий» 4
2 Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3 Структура и содержание дисциплины 4
3.1 Виды учебной работы и трудоемкость 5
3.2 Тематический план изучения дисциплины 5
3.3 Содержание дисциплины 6
3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 7
3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 7
4 Учебно-методическое и информационное обеспечение 7
4.1 Нормативные документы и ГОСТы 7
4.2 Основная литература 7
4.3 Дополнительная литература 7
4.4 Электронные образовательные ресурсы 7
4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 8
4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 8
5 Материально-техническое обеспечение 8
6 Методические рекомендации 8
6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 8
6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины. 9
7 Фонд оценочных средств 9
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 9
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 10
7.3 Оценочные средства 10

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине «Цифровые двойники изделий»

Целью изучения дисциплины является формирование углубленного представления о разработке цифровых двойников изделий в высокотехнологичной промышленности.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

1. Овладение базовыми знаниями о цифровых двойниках и цифровой тени различных технологических агрегатов.
2. Изучение современного состояния и основных возможностей и преимуществ цифровых двойников, работы основных технологических агрегатов, компьютерных технологий, прикладных программ для обработки больших данных, снимаемых с современных технологических агрегатов.
3. Использования современных математических и компьютерных технологий для моделирования его работы, предсказания его поведения в режиме проектирования и эксплуатации.

Планируемые результаты обучения, соотнесенные с установленными в ОПОП ВО индикаторами достижения компетенций.

Обучение по дисциплине **«Цифровые двойники изделий»** направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1. Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности	ИПК-1.1. Способность использовать полученные знания в ходе разработки и реализации корпоративных стратегий цифровой трансформации. ИПК-1.2. Способность к критическому восприятию концепций и подходов к созданию цифровых двойников. ИПК-1.3. Производить цифровое проектирование и моделирование конкурентоспособной продукции нового поколения в условиях 4 промышленной революции.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

- информационные системы в электроэнергетике;
- полупроводниковые преобразователи с высокими энергетическими показателями;
- системы управления электроприводов.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 академических часа).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1 Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестр
			3
1	**Аудиторные занятия**	**54**	**54**
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия		
1.3	Лабораторные занятия	36	36
2	**Самостоятельная работа**	**90**	**90**
	В том числе:		
2.1	Оформление отчётов по лабораторным работам и подготовка к их защите.	20	30
2.2	Обучение в системе LMS	10	20
2.3	Подготовка к промежуточной аттестации	20	40
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен		**Экзамен**
	Итого	**144**	**144**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Понятия «цифровой двойник»**	**7**	**2**	**-**	**-**	**-**	**5**
2	**Раздел 2. Математическое и компьютерное моделирование**	**28**	**8**	**-**	**-**	**-**	**20**
2.1	Тема 1. Математические и компьютерные модели	7	2	-	-	-	5
2.2	Тема 2. Мультидисциплинарные модели. Адекватность моделей	7	2	-	-	-	5
2.3	Тема 3. Верификация моделей	7	2	-	-	-	5
2.4	Тема 4. Валидация моделей	7	2	-	-	-	5
3	**Раздел 3. Цифровые двойники изделий**	**99**	**8**	-	**36**	**-**	**65**
3.1	Тема 1. Цифровая модель изделия	22	2	-	36	-	40

3.2	Тема 2. Двусторонние информационные связи	17	2	-	-	-	5
3.3	Тема 3. Цифровые двойники для вновь разрабатываемых и эксплуатируемых изделий	-	2	-	-	-	10
3.4	Тема 4. Перспективы развития цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности	-	2	-	-	-	10
Итого		**144**	**18**	**-**	**36**	**-**	**90**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Понятия «цифровой двойник»

Понятие и основные определения цифрового двойника (Digital Twin) как одного из фактора цифровой трансформации предприятий, формирующего ближайшее будущее (Industry 4.0). Идея цифрового двойника. 4 стадии развития концепции. Современная концепция цифрового двойника.

Раздел 2. Математическое и компьютерное моделирование

Тема 1. Математические и компьютерные модели

Математическая модель и ее особенности. Развитие математического и компьютерного моделирования. Компьютерная модель и ее особенности.

Рассмотрение цифрового двойника как сложной математической модели, позволяющей с высокой точностью описывать поведение реального физического объекта или системы, а также технологического/производственного процесса.

Тема 2. Мультидисциплинарные модели

Мультидисциплинарное моделирование. Понятие адекватности модели.

Тема 3. Верификация моделей

Понятие верификации модели. Погрешности при моделировании.

Тема 4. Валидация моделей

Понятия «валидация». Взаимосвязь верификации и валидации моделей.

Раздел 3. Цифровые двойники изделий

Тема 1. Цифровая модель изделия

Понятие цифровой модели изделия и входящие в ее состав элементы**.** Повышение адекватности цифровой модели. Взаимосвязь цифровой модели и цифрового двойника изделия.

Тема 2. Двусторонние информационные связи

Понятие двусторонних информационных связей. Процесс реализации двусторонних информационных связей.

Тема 3. Цифровые двойники для вновь разрабатываемых и эксплуатируемых изделий

Характеристики цифрового двойника изделия. Особенности формирования двусторонних информационных связей с изделием. Особенности цифровых двойников для разрабатываемых и эксплуатируемых изделий.

Тема 4. Перспективы развития цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности

Перспективы и тенденции развития цифровых двойников. Отрасли применения цифровых двойников.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1 Семинарские/практические занятия – нет

3.4.2 Лабораторные занятия

Лабораторная работа №1. Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (4 часа).

Лабораторная работа №2. Модель синхронного неявнополюсного двигателя с постоянными магнитами (6 часов).

Лабораторная работа №3. Модель синхронного явнополюсного двигателя с постоянными магнитами (6 часов).

Лабораторная работа №4. Модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения (6 часов).

Лабораторная работа №5. Модель «Реверсивный электропривод постоянного тока с силовым тиристорным преобразователем» (8 часов).

Лабораторная работа №6. Модель «Частотно-регулируемого электропривода переменного тока на базе двухзвенного преобразователя частоты со скалярной системой управления» (8 часов).

Лабораторная работа №7. Модель «Частотно-регулируемого электропривода переменного тока на базе двухзвенного преобразователя частоты с векторной системой управления» (8 часов).

Лабораторная работа №8. Модель «Исследование тиристорного регулятора напряжения с «горизонтальным» принципом управления и системы плавного пуска асинхронного электродвигателя на его основе» (8 часов).

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) - нет

4 Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. Свод правил «Электротехнические устройства» СП 76.13330.2016. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
2. ГОСТ 30331.1–2013 (IEC 60364–1:2005) Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения.

4.2 Основная литература

1. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

4.3 Дополнительная литература

1. Grieves M. Intelligent digital twins and the development and management of complex systems // Digital Twin. – 2022. – 2:8. – P. 18. – Режим доступа: https://digitaltwin1.org/articles/2-8/v1

2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt): Working Paper. – 2016. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

Название ЭОР	Ссылка
Основы цифровой трансформации	https://lms.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=8736

Разработанный ЭОР включают промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета (http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog).

Ссылка на электронную библиотеку:
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=7621&section=1

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/
7. Электротехническая библиотека «Элек.ру» https://www.elec.ru/library/info/
8. Netelectro. Новости электротехники, оборудование. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления. https://netelectro.ru/
9. Электроцентр. http://electrocentr.info/

5 Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами и интерактивной доской, мультимедийным проекторам и экранам: В-307 и аудитории общего фонда. Для проведения лабораторных работ используется аудитория: В-307 и аудитории в Инновационно-образовательном комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

6 Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1 Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2 На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4 Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5 Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу.

6.1.6 Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом или зачётом) список вопросов для подготовки.

6.1.7 Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8 Целесообразно в ходе защиты лабораторных работ задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха).

6.1.9 Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

6.2.1 Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2 При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3 К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

7 Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена 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 «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Цифровые двойники изделий».

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Шкала оценивания результатов промежуточной аттестации **«экзамен»** и их описание:

Шкала оценивания	***Критерий оценивания***
Отлично	*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.*
Хорошо	*Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.*
Удовлетворительно	*Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.*
Неудовлетворительно	*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.*

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

1. Подготовка к выполнению, оформление отчетов и защита лабораторных работ, а также прохождение тестов в системе LMS.

7.3.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в форме письменного экзамена с последующим собеседованием по материалам ответа.

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса. Список вопросов, выносимых на экзамен, выдается студентам на первом занятии. Для подготовки и написания ответа на билет студенту выделяется 40 минут. В процессе проведения собеседования студенту могут быть заданы дополнительные вопросы, не выходящие за рамки изученного курса.