

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 15.11.2022 14:47:38
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Информационные системы и
технологии в инновационной
деятельности»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ»

для подготовки бакалавров

по направлению

27.03.05 «Инноватика»

по профилю

«Информационные системы и технологии в инновационной деятельности»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

д.т.н., профессор Денисов А.Р.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ИМ
20.04.2022, протокол № 3

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ИНПРОТЕХ, 27.04.2022, протокол № 7

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ИНПРОТЕХ
Обеспечивающая кафедра	ИМ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	4
Семестр	8
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	20
Практические занятия (академ. часов)	20
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	41
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	103
Всего (академ. часов)	144
Вид промежуточной аттестации	
Дифф. зачет (курс)	4

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ»

Дисциплина посвящена вопросам построения цифровых двойников, ориентированных на комплексное многопараметрическое моделирование продуктов, производственных процессов и систем, а также принятию решений на основе полученных результатов.

В дисциплине рассматривается общая концепция цифровых двойников а также модели, которые могут быть в них использованы. Практические занятия ориентированы на получение навыков в моделировании различных продуктов и процессов.

SUBJECT SUMMARY

«TECHNOLOGIES OF DIGITAL TWINS»

The discipline is devoted to the issues of digital twins development, focused on complex multi-parameter modeling of products, production processes and systems, as well as decision-making based on the results obtained.

The discipline discusses the general concept of digital twins as well as the models that can be used in them. Practical classes are focused on gaining skills in modeling various products and processes.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целью изучения дисциплины является освоение технологий цифровых двойников, как систем комплексного многопараметрического моделирования различных продуктов, производственных процессов и систем, а также получение навыков практического использования результатов моделирования в т.ч. для разработки и планов инновационного развития предприятий и территорий

2. Задачи дисциплины

-Формирование компетенций в области построения различных цифровых двойников

-Формирования навыков моделирования продуктов, производственных процессов и систем

3. Приобретение знаний:

-об цифровых двойниках и принципах их практического применения;

-о различных видах моделирования, используемых при построении цифровых двойников

4. Приобретение умений:

-построения различных видов моделирования, используемых при построении цифровых двойников

-принятия решений на основе результатов моделирования

5. Приобретение навыков применения инструментальных средств при создании цифровых двойников

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Всеобщий менеджмент качества»
 2. «Информационные технологии в логистике»
 3. «Информационные технологии в управлении предприятием»
 4. «Информационные технологии обработки данных, графики и мультимедиа»
 5. «Методы эконометрического анализа производственной деятельности»
 6. «Организация наукоемкого производства»
 7. «Программная инженерия»
 8. «Системы бережливого производства»
 9. «Управление человеческими ресурсами»
 10. «Управление процессами»
 11. «Анализ данных»
 12. «Алгоритмы решения нестандартных задач»
 13. «ИПИИ-технологии»
 14. «Имитационное моделирование экономических процессов»
 15. «Надежность и испытание технических систем»
 16. «Управление рисками в инновационной деятельности»
 17. «Экономико-математические методы и модели»
 18. «Основы моделирования бизнес-процессов»
 19. «Основы менеджмента качества и управления бизнес-процессами»
- и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен участвовать в разработке планов инновационного развития предприятий и территорий
<i>ПК-1.3</i>	<i>Анализирует технологии, используемые при формировании инфраструктуры нововведений</i>
<i>ПК-1.4</i>	<i>Анализирует технологии, используемые при реализации проекта</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Концепция цифровых двойников	2			5
2	Линейное моделирование процессов и систем	2	4		16
3	Дифференциальное моделирование процессов и систем	2	6		22
4	Моделирование с использованием технологий анализа данных и искусственного интеллекта	2	0		4
5	Системы массового обслуживания и сети Петри	2	0		4
6	Имитационное моделирование процессов и систем	2	6	0	22
7	Моделирование с использованием CAD/CAM/CAE систем	2			4
8	Моделирование с использованием геоинформационных систем	2			4
9	Моделирование экономических процессов и систем	2	4		16
10	Контроллинг процессов организации с использованием цифровых двойников	2		1	6
	Итого, ач	20	20	1	103
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Концепция цифровых двойников	Концепция цифровой экономики и индустрии 4.0. Референсная архитектурная модель для Индустрии 4.0 (RAMI4.0). Понятия цифровой тени и цифрового двойника. Концепция и стандартные определения цифрового двойника. Концепция кибер-физической системы. Примеры реализации цифровых двойников в различных отраслях: машиностроение, строительство, логистика ... Перспективы развития цифровых двойников: цифровые двойники персонала и региональные цифровые двойники

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Линейное моделирование процессов и систем	Классификация алгебраических уравнений и методов их решения. Численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ): метод Крамера и метод обратной матрицы, методы Гаусса и Гаусса-Жордана, метод LU-разложения матрицы, итерационные методы. Численные методы решения нелинейных алгебраических уравнений (НАУ): метод касательных и метод хорд, метод Ньютона
3	Дифференциальное моделирование процессов и систем	Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ). Классификация обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Задача Коши и краевая задача. Классификация методов решения задачи Коши. Численные методы решения задачи Коши. Методы Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Методы Хэмминга. Метод Адамса. Решение задачи Коши для системы ОДУ. Методы решения краевой задачи. Дифференциальные уравнения в частных производных (ДУЧП). Классификация методов решения ДУЧП. Численные методы решения ДУЧП. ДПДВ-подход: метод сеток. ДПНВ-подход: сведение ДУЧП к системе ОДУ. Основные положения метода конечных элементов.
4	Моделирование с использованием технологий анализа данных и искусственного интеллекта	Базовые концепции искусственного интеллекта. Продукционные модели. Байесовские модели. Нечеткие модели. Примеры практической реализации продукционных моделей различного типа: байесовские сети, схемы Шортлиффа и Мамдани. Модели анализа данных. Примеры практического применения моделей анализа данных (регрессионные, классификационные, ...) при построении цифровых двойников
5	Системы массового обслуживания и сети Петри	Основные понятия; потоки заявок в СМО; законы распределения интервалов времени между заявками и времени обслуживания в СМО. Классификация и основные характеристики СМО. Уравнения Колмогорова-Чепмена; формулы Литтла. Простейшие СМО и их характеристики: схема гибели и размножения; одноканальная СМО с ожиданием; многоканальная СМО с отказами, формулы Эрланга; одноканальная СМО без ограничений на очередь; многоканальная СМО без ограничений на очередь; многоканальная СМО с ограничением на длину очереди. Сети Петри. Понятие, структура, свойства и классификация сетей Петри. Математическое и графическое описание процессов посредством сетей Петри. Графический язык описания системы. Моделирование работы системы с помощью сетей Петри. Методы анализа сетей Петри: Построение дерева достижимости, метод матричных уравнений

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Имитационное моделирование процессов и систем	Общие вопросы систем массового обслуживания. Дается понятие имитационного моделирования, его основные отличия, достоинства и недостатки. Условия применения имитационного моделирования. Этапы построения имитационных моделей. Виды имитационных моделей. Мультиагентные модели.
7	Моделирование с использованием CAD/CAM/CAE систем	Понятие и назначение систем автоматизированного проектирования (САПР). Концепция CAD/CAM/CAE. Механизмы имитационного моделирования в САМ системах: Tracer Control. Инженерное моделирование в CAE-системах. Аналитическое и численное моделирование в инженерных расчетах. Концепция PDM систем, как механизм интеграции конструкторско-технологических документов и моделей (построения цифровых двойников). Специализированные САПР в строительстве: BIM-системы как основа для цифровых двойников. Практические примеры использования CAD/CAM/CAE систем при построении цифровых двойников в различных отраслях
8	Моделирование с использованием геоинформационных систем	Классификация географических данных. Подходы к интеграции географических данных в цифровые двойники. Использование статических и динамических карт. Принципы организации данных неинформационных систем. Механизмы визуализации результатов моделирования в геоинформационных системах. Примеры практического использования геоинформационных систем при построении цифровых двойников
9	Моделирование экономических процессов и систем	Классификация методов финансово-экономического моделирования. Функционально-стоимостной анализ. Модели общего вычислимого равновесия (GCE). Модели межотраслевого баланса (input/output); их классификации (статические и динамические, крупноагрегированные и детализированные, стоимостные, натуральные и натурально-стоимостные, народнохозяйственные и региональные и т.п.). Система экономических индексов, иерархия индексов, агрегатная форма индексов. Модели динамических и пространственных индексов. Моделирование целевых показателей деятельности компании. Использование экономических моделей при планировании инновационного развития

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
10	Контроллинг процессов организации с использованием цифровых двойников	Концепция непрерывного совершенствования. Концепция Гемба-Кайдзен. Практическая реализация циклов непрерывного совершенствования: CRISP-DM и HADI. Организация HADI-циклов в организации. Использование цифровых двойников при тестировании гипотез. Организация планирования инновационного развития предприятий и территорий на основе принципов непрерывного совершенствования. Контроллинг как основная методология непрерывного совершенствования компаний с использованием цифровых двойников

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Линейное моделирование. Анализ производственной системы с помощью Симплекс-метода	4
2. Моделирование дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты	6
3. Имитационное моделирование производственных процессов	6
4. Экономическое моделирование производственной системы	4
Итого	20

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Исходные данные и требования: Реферат должен представлять собой обзор кейсов (не менее 3 кейсов) применения цифровых двойников в различных отраслях (по указанию преподавателя).

При этом должны быть выявлены общие принципы использования цифровых двойников в данной сфере, виды используемых моделей, способы формирова-

ния требований к результатам моделирования и организация процесса.

Реферат должен содержать титульный лист, общее описание кейсов, классификацию выявленных моделей, описание алгоритма моделирования, описание, каким образом полученные результаты используются в процессе принятия решений, списка используемых источников. Оформление реферата должно соответствовать требованиям, утвержденным в ЛЭТИ (по шаблону размещенному на сайте университета по адресу, указанному в п. 5.2 рабочей программы.).

После выполнения должна состояться публичная защита реферата в формате выступления перед студенческой группой..

Примерные темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Цифровые двойники в автомобилестроении	Digital twins in automotive industry
2	Цифровые двойники в судостроении	Digital twins in shipbuilding industry
3	Цифровые двойники в авиастроении	Digital twins in aircraft industry
4	Цифровые двойники в станкостроении	Digital twins in machine tool industry
5	Цифровые двойники в строительстве	Digital twins in building sector
6	Цифровые двойники в логистике	Digital twins in logistics
7	Цифровые двойники в управлении персоналом	Digital twins in human resources management
8	Цифровые двойники в сельском хозяйстве	Digital twins in agriculture
9	Цифровые двойники в региональном управлении	Digital twins in regional administration
10	Цифровые двойники в торговле	Digital twins in marketing

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	33
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	20
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	20
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	10
ИТОГО СРС	103

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Горлач Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация [Электронный ресурс], 2018. -292 с.	неогр.
2	Волкова, Виолетта Николаевна. Моделирование систем и процессов. Практикум [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / под ред. Волковой В.Н., 2021. -295 с	неогр.
3	Древс, Юрий Георгиевич. Имитационное моделирование [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Древс Ю. Г., Золотарёв В. В., 2021. -142 с	неогр.
Дополнительная литература		
1	Акопов, Андраник Сумбатович. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс] : Учебник и практикум Для СПО / Акопов А. С., 2021. - 389 с	неогр.
2	Владимир Большаков 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий V17 и выше. Учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] / Большаков Владимир, Чагина Анна, 2021. -257 с.	неогр.
3	Колокольцов В. Н. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех) [Электронный ресурс], 2021. -624 с.	неогр.

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Научная электронная библиотека Elibrary.ru https://elibrary.ru/defaultx.asp?
2	Anylogic https://www.anylogic.ru/
3	Wolfram Alpha computational intelligence https://www.wolframalpha.com/
4	Шаблон оформления реферата https://etu.ru/assets/files/3004_2_ShABLON-referata.doc
5	Шаблон оформления лабораторной (практической) работы https://etu.ru/assets/files/3004_1_ShABLON-lab.r.doc

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=9091>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Технологии цифровых двойников» формой промежуточной аттестации является зачет с оценкой.

Зачет с оценкой

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Реферат не написан и не защищен, не выполнены практические работы
Удовлетворительно	Студент подготовил и защитил реферат, все практические работы выполнены, однако результаты содержат серьезные ошибки
Хорошо	Реферат и практические работы выполнены без серьезных ошибок, однако студент испытывает трудности в объяснении полученных результатов
Отлично	Реферат и практические работы выполнены без серьезных ошибок, студент аргументированно объясняет полученные результаты

Особенности допуска

Допуском к зачету является защита реферата и выполнение всех практических работ

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Примерные вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Использование линейных моделей при построении цифровых двойников
2	Использование дифференциальных моделей при построении цифровых двойников
3	Использование имитационных моделей при построении цифровых двойников
4	Использование CAD/CAM/CAE технологий в цифровых двойниках
5	Использование географических данных в цифровых двойниках
6	Использование моделей анализа данных в цифровых двойниках
7	Использование производственных моделей в цифровых двойниках
8	Использование мультиагентных систем при построении цифровых двойников
9	Использование экономических моделей при построении цифровых двойников
10	Использование цифровых двойников при инновационном планировании организаций и территорий

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Концепция цифровых двойников	
2		Реферат
3	Линейное моделирование процессов и систем	
4		Практическая работа
5	Дифференциальное моделирование процессов и систем	
6		Практическая работа
7	Имитационное моделирование процессов и систем	
8		
9	Контроллинг процессов организации с использованием цифровых двойников	
10		Практическая работа

6.4 Методика текущего контроля

Методика текущего контроля на лекционных занятиях

Текущий контроль осуществляется через способность студентов применять теоретические концепты, изложенные в лекциях, при выполнении индивидуальных заданий и написании кейса.

Методика текущего контроля на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя:

- написание и защиту реферата и выполнение практических работ. Работа над рефератом выполняется индивидуально.

Критерии оценки реферата

Реферат оценивается по системе защищен или не защищен

Критерии оценки практических работ

- В ходе практических работ реализованы соответствующие математические модели (нахождение оптимального значения в системе линейных неравенств для ПР1, моделирование процесса, заданного дифференциальным уравнением для ПР2, имитационное моделирование для ПР3, моделирование ме-

тодом функционально-стоимостного анализа для ПР4).

- Модели реализованы без ошибок в выбранной преподавателем инструментальной среде (Anylogic)

- На основании результатов моделирования сделаны управленческие выводы.

- По результатам выполнения работы оформляется отчет, соответствующий предъявляемым к нему требованиям (по шаблону размещенному на сайте университета по адресу, указанному в п. 5.2 рабочей программы).

Выполнение практической работы подтверждается как демонстрацией расчета в инструментальной среде, так и наличием отчета.

Практические работы оцениваются по системе выполнена или не выполнена. Практическая работа считается выполненной, если в расчете и отчете присутствуют ответы на все вопросы, сформулированные в критериях.

Методика текущего контроля самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на практических занятиях студентов по результатам выполнения практических работ и защиты реферата

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, маркерная доска, ПК.,	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Компьютерный класс	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета. Количество компьютеров – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, маркерная доска, ПК.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Доступ к сети "Интернет" 4) AnyLogic
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Доступ к сети "Интернет" 4) Anylogic

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА