ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей кафедрой

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Воронцов А. Г.
Пользователь: vorontsovag
Дата подписания: 15.05.2023

А. Г. Воронцов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.П0.15.02 Вычислительная электродинамика
для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
уровень Бакалавриат
профиль подготовки Наноэлектроника: проектирование, технология, применение
форма обучения очная
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,
д.физ.-мат.н., доц.

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Воронцов А. Г.
Пользователь: vorontsovag
Дата подписания: 15.05.2023

А. Г. Воронцов

Разработчик программы,
к.физ.-мат.н., доцент

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Верховых А. В.
Пользователь: avverkhovykh
Дата подписания: 15.05.2023

А. В. Верховых

Челябинск

1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса – освоение студентами основных современных вычислительных методов электродинамики и подходов к решению прикладных задач с использованием этих методов, принципов разработки вычислительных алгоритмов для решения задач прикладной электродинамики, получение навыков работы с некоторыми САПР (Ansys Electronics Desktop), используемыми при практическом решении вычислительных задач электродинамики.

Краткое содержание дисциплины

Элективный курс "Вычислительная электродинамика" читается студентам в четвертом семестре бакалавриата. Центральное место в курсе занимают особенности использования хорошо разработанных численных методов, таких как методы конечных разностей и конечных элементов с учётом специфики электродинамических задач. Рассматривается использование основных теорем электродинамики - единственности, эквивалентности, взаимности - при построении вычислительных алгоритмов. Анализируются возможности использования при решении задач приближений, характерных именно для электродинамики. В процессе изучения дисциплины, студенты изучают принципы использования пакета САПР HFSS. Изучается структура пакета, моделируются устройства различных классов.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает: положения вычислительной электродинамики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Теория функций комплексного переменного	Статистическая физика, Специальные главы квантовой механики, Схемотехника цифровых устройств, Физика и диагностика поверхности, Программные системы инженерного анализа, Введение в квантовую обработку информации, Физика конденсированного состояния, Вычислительная математика, Уравнения математической физики, Производственная практика (научно-исследовательская работа) (8 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Теория функций комплексного переменного	Знает: положения теории функций комплексного переменного, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 70,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		4
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия:	64	64
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	37,75	37,75
Подготовка к практическим занятиям	16	16
Подготовка к контрольным мероприятиям	16	16
Подготовка к зачету	5,75	5.75
Консультации и промежуточная аттестация	6,25	6,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Теоретические основы классической электродинамики	12	8	4	0
2	Метод конечных разностей в частотной и во временной областях	16	12	4	0
3	Метод конечных элементов в частотной и во временной областях	36	12	24	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во

			часов
1	1	Введение в вычислительную электродинамику. Основные уравнения и законы электромагнитного поля	2
2	1	Уравнения Максвелла и их решение. Одномерное волновое уравнение	2
3	1	Электродинамические потенциалы и векторы Герца. Начальные и граничные условия.	2
4	1	Классы задач электродинамики. Постановка краевых задач электродинамики.	2
5	2	Метод конечных разностей. Конечно-разностные аппроксимации дифференциальных операторов. Аппроксимация граничных условий.	2
6	2	Методы решения конечно-разностной системы линейных алгебраических уравнений. Интегрирование сеточных функций.	2
7	2	Конечно-разностные уравнения в прямоугольных координатах. Конечно-разностные уравнения в криволинейных координатах. Начальные и граничные условия.	2
8	2	Абсорбционные граничные условия. Идеально согласованные слои. Метод дополнительных операторов. Источники возбуждения.	2
9	2	Сосредоточенные элементы. Конформный метод конечных разностей во временной области	2
10	2	Метод конечных разностей во временной области для сред с временной дисперсией. Погрешности метода. Алгоритмы метода с повышенной точностью и производительностью. Метод конечного интегрирования.	2
11	3	Метод конечных элементов в частотной области. Основные уравнения и граничные условия. Методы построения сетки и решения глобального матричного уравнения.	2
12	3	Базисные функции. Построение локальной матрицы. Составление глобального матричного уравнения.	2
13	3	Численная реализация граничных условий. Методы решения матричных задач.	2
14	3	Вычисление электромагнитного поля и параметров электродинамических систем.	2
15	3	Методы увеличения эффективности метода конченых элементов. Примеры использования	2
16	3	Метод коллокаций. Неявные схемы Метод конечных элементов во временной области. Разрывный метод Галеркина. Погрешности и примеры расчета.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Основные положения электродинамики. Уравнения Максвелла. Энергетические соотношения. Граничные условия	2
2	1	Волноводы. Условия распространения, фазовая скорость и длина волны в волноводе. Структура поля, токов. Переносимая мощность	2
3	2	Программное представление расчетной области и преобразование уравнений Максвелла в конечно-разностную форму	2
4	2	Алгоритм метода конечных разностей. Методика моделирования.	2
5	3	Введение в ANSYS: основные элементы програмного комплекса и работа с ними	2
6	3	Библиотека модулей ANSYS: модуль электродинамика	2
7	3	Моделирование структур в оптическом диапазоне частот	2
8	3	Волноводная антенная решетка	2

9	3	Моделирование частотно-селективной поверхности	2
10	3	Полосовой волноводный фильтр	2
11	3	Учет температурных режимов	2
12	3	Анализ рупорной антенны во временной области	2
13	3	Моделирование коннектора	2
14	3	Проектирование наноразмерных светодиодных модулей	2
15	3	Использование гибридных методов расчета	2
16	3	Использование ассимптотических методов расчета	2

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к практическим занятиям	Крамм, М. Н. Сборник задач по основам электродинамики : учебное пособие / М. Н. Крамм. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1122-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167874: главы 3 и 6; Маслов, А. В. Решение электродинамических задач методом конечных разностей во временной области : учебно-методическое пособие / А. В. Маслов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. — 42 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/153501: параграф 3; Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя : справочник / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 640 с. — ISBN 5-94074-108-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1335 : главы 1-4; Банков, С. Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. — 2-е изд. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2009. — 216 с. — ISBN 5-98003-226-6 . — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/13716: параграфы 1,2,5,8,9,11,14,15,17,18	4	16
Подготовка к контрольным мероприятиям	Григорьев, А. Д. Электродинамика и микроволновая техника : учебник / А. Д. Григорьев. — 2-е изд. — Санкт-Петербург	4	16

	: Лань, 2021. — 704 с. — ISBN 978-5-8114-0706-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167679 : главы 1 и 14; Григорьев, А. Д. Методы вычислительной электродинамики / А. Д. Григорьев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 428 с. — ISBN 978-5-9221-1450-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/48301: главы 1-5; Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя : справочник / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 640 с. — ISBN 5-94074-108-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1335 : главы 1-4; Банков, С. Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. — 2-е изд. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2009. — 216 с. — ISBN 5-98003-226-6 . — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/13716: параграфы 1,2,5,8,9,11,14,15,17,18		
Подготовка к зачету	Григорьев, А. Д. Электродинамика и микроволновая техника : учебник / А. Д. Григорьев. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 704 с. — ISBN 978-5-8114-0706-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167679 : главы 1 и 14; Григорьев, А. Д. Методы вычислительной электродинамики / А. Д. Григорьев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 428 с. — ISBN 978-5-9221-1450-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/48301: главы 1-5; Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя : справочник / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 640 с. — ISBN 5-94074-108-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1335 : главы 1-4; Банков, С. Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. — 2-е изд. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2009. — 216 с. — ISBN 5-98003-226-6 . — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/13716:	4	5,75

	параграфы 1,2,5,8,9,11,14,15,17,18		

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мест-р	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	4	Текущий контроль	Выполнение практических задач	1	10	Оценка за практическую работу выставляется по результатам проверки расчетов в программе ANSYS, которые должны соответствовать теоретическим данным и содержать корректный результат. Всего 10 задач. Максимальная оценка за практическую работу в семестре составляет 10 баллов. Критерии оценивания: 1 балл: Программа работает правильно и корректно. 0 баллов: Программа не работает или результат некорректный	зачет
2	4	Текущий контроль	Контрольная работа 1	1	10	Контрольная работа состоит из 2, предполагающих развернутый ответ. Каждый ответ на вопрос оценивается от 0 (ответ на вопрос отсутствует) до 5 (полный верный ответ) баллов. За каждую неточность снимается 1 балл. За каждую ошибку или отсутствие важной части материала снимается 2 балла.	зачет
3	4	Текущий контроль	Контрольная работа 2	1	10	Контрольная работа состоит из 2, предполагающих развернутый ответ. Каждый ответ на вопрос оценивается от 0 (ответ на вопрос отсутствует) до 5 (полный верный ответ) баллов. За каждую неточность снимается 1 балл. За каждую ошибку или отсутствие важной части материала снимается 2 балла.	зачет
4	4	Проме-жуточная аттестация	Зачетное задание	-	10	Студенту озвучивается 10 вопросов. Правильный и полный ответ на каждый вопрос оценивается в 1 балл. Неполный или неверный ответ оценивается в 0 баллов.	зачет

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид	Процедура проведения	Критерии

промежуточной аттестации		оценивания
зачет	Промежуточная аттестация может быть выставлена по результатам текущего контроля. Студент может улучшить свой рейтинг, пройдя контрольное мероприятие промежуточной аттестации, которое не является обязательным. Зачет проводится в форме устного опроса по всему материалу курса. Время на подготовку не предполагается. Студенту в ходе ответа запрещается пользоваться любыми печатными или электронными носителями информации.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-1	Знает: положения вычислительной электродинамики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Методические указания при самостоятельном изучении материалов по дисциплине «Вычислительная электродинамика»

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические указания при самостоятельном изучении материалов по дисциплине «Вычислительная электродинамика»

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система	Григорьев, А. Д. Электродинамика и микроволновая техника : учебник / А. Д. Григорьев. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 704 с. — ISBN 978-5-8114-0706-

		издательства Лань	4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167679 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Крамм, М. Н. Сборник задач по основам электродинамики : учебное пособие / М. Н. Крамм. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1122-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167874 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя : справочник / К. А. Басов. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 640 с. — ISBN 5-94074-108-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1335 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Курушин, А. А. Моделирование антенн и СВЧ структур с помощью HFSS : учебное пособие / А. А. Курушин, С. Е. Банков. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2018. — 280 с. — ISBN 978-5-91359-303-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/139115 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Григорьев, А. Д. Методы вычислительной электродинамики / А. Д. Григорьев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 428 с. — ISBN 978-5-9221-1450-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/48301 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Банков, С. Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. — 2-е изд. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2009. — 216 с. — ISBN 5-98003-226-6 . — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/13716 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Маслов, А. В. Решение электродинамических задач методом конечных разностей во временной области : учебно-методическое пособие / А. В. Маслов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. — 42 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/153501 — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	463 (1)	персональные компьютеры