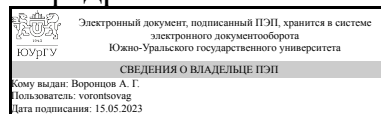


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



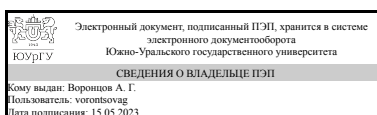
А. Г. Воронцов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

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

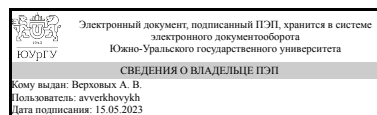
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

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



А. Г. Воронцов

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



А. В. Верховых

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 нанoeлектроники 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 нанoeлектроники 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 нанoeлектроники 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
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	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 конечных 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 программного 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 асимптотических 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-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается 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	Промежуточная 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 нанoeлектроники 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