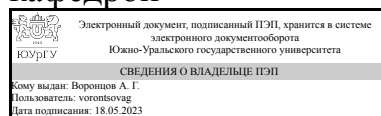


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



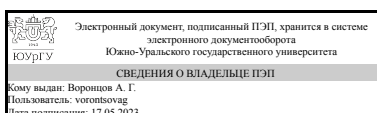
А. Г. Воронцов

## 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

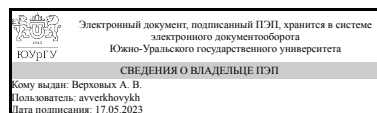
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вычислительная математика,<br>Теория функций комплексного переменного | Программные системы инженерного анализа,<br>Специальные главы квантовой механики,<br>Физика и диагностика поверхности,<br>Уравнения математической физики,<br>Схемотехника цифровых устройств,<br>Введение в квантовую обработку информации,<br>Статистическая физика,<br>Физика конденсированного состояния,<br>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                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вычислительная математика               | Знает: алгоритмы вычислительной математики необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:                |
| 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 зачету                                                        | 5,75        | 5,75                               |
| Подготовка к контрольным мероприятиям                                      | 16          | 16                                 |
| Подготовка к практическим занятиям                                         | 16          | 16                                 |
| 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                    | 36                                        | 12 | 24 | 0  |

|  |                    |  |  |  |  |
|--|--------------------|--|--|--|--|
|  | временной областях |  |  |  |  |
|--|--------------------|--|--|--|--|

## 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 зачету | <p>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: <a href="https://e.lanbook.com/book/167679">https://e.lanbook.com/book/167679</a> : 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/48301">https://e.lanbook.com/book/48301</a> : 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/1335">https://e.lanbook.com/book/1335</a> : 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. —</p> | 4       | 5,75         |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |    |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
|                                       | URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/13716">https://e.lanbook.com/book/13716</a> : параграфы 1,2,5,8,9,11,14,15,17,18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |    |
| Подготовка к контрольным мероприятиям | <p>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: <a href="https://e.lanbook.com/book/167679">https://e.lanbook.com/book/167679</a> : 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/48301">https://e.lanbook.com/book/48301</a> : 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/1335">https://e.lanbook.com/book/1335</a> : 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/13716">https://e.lanbook.com/book/13716</a>: параграфы 1,2,5,8,9,11,14,15,17,18</p> | 4 | 16 |
| Подготовка к практическим занятиям    | <p>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: <a href="https://e.lanbook.com/book/167874">https://e.lanbook.com/book/167874</a>: 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/153501">https://e.lanbook.com/book/153501</a>: 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/1335">https://e.lanbook.com/book/1335</a> : главы 1-4; Банков, С. Е. Анализ и оптимизация</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4 | 16 |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/13716">https://e.lanbook.com/book/13716</a> : 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.<br>Максимальная оценка за практическую работу в семестре составляет 10 баллов.<br>Критерии оценивания:<br>1 балл: Программа работает правильно и корректно.<br>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-           | Зачетное                          | -   | 10         | Студенту озвучивается 10 вопросов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | зачет            |

|  |  |                        |         |  |  |                                                                                                                      |  |
|--|--|------------------------|---------|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | жуточная<br>аттестация | задание |  |  | Правильный и полный ответ на каждый вопрос оценивается в 1 балл. Неполный или неверный ответ оценивается в 0 баллов. |  |
|--|--|------------------------|---------|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

| Вид промежуточной аттестации | Процедура проведения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Критерии 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                                                                                                                                                                                       | №<br>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 издательства Лань | 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/167679">https://e.lanbook.com/book/167679</a> . — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/167874">https://e.lanbook.com/book/167874</a> . — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/1335">https://e.lanbook.com/book/1335</a> . — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/139115">https://e.lanbook.com/book/139115</a> — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/48301">https://e.lanbook.com/book/48301</a> . — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/13716">https://e.lanbook.com/book/13716</a> — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/153501">https://e.lanbook.com/book/153501</a> — 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<br>(1) | персональные компьютеры                                                                                                                          |