

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 12.03.01 Приборостроение

Наименование образовательной программы: Приборы и методы контроля качества и диагностики

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ В ИНТРОСКОПИИ**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.28</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 12 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 24 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>8 семестр - 12 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>8 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 93,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>8 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лунин В.П.
	Идентификатор	R98431939-LuninVP-7d841ea7

(подпись)


В.П. Лунин

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Барат В.А.
	Идентификатор	Rb173df8d-BaratVA-106e228a


(подпись)

В.А. Барат

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Желбаков И.Н.
	Идентификатор	R839a3a63-ZhelbakovIN-f73624c

(подпись)

И.Н. Желбаков

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение наиболее эффективного средства численного моделирования, метода конечных элементов, позволяющего решать краевые задачи электромагнитного поля с минимальными допущениями о характере взаимодействия электромагнитного поля с контролируемым изделием в электрическом, магнитном и вихретоковом методах контроля

### Задачи дисциплины

- изучение характера взаимодействия электромагнитного поля с контролируемым изделием с помощью моделирования процедуры контроля;

- обучение приемам выбора конечно-элементной модели для оптимального решения задач моделирования электромагнитных процессов при электрическом, магнитном и вихретоковом методах контроля;

- получение информации о достоинствах и ограничениях различных видов электромагнитного неразрушающего контроля, о возможности выбора наилучших условий контроля и оптимальной конструкции соответствующего преобразователя и о выводах, которые могут быть сделаны по результатам моделирования;

- изучение способов принятия и обоснования конкретных технических решений по результатам моделирования при разработке методов контроля и диагностики.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-1 способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения	ИД-9 <sub>ОПК-1</sub> Использует методы математического моделирования для расчета физических полей	знать: - основные законы распределения электромагнитного поля в пространстве.  уметь: - выполнять математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Приборы и методы контроля качества и диагностики (далее – ОПОП), направления подготовки 12.03.01 Приборостроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать общую систему уравнений Максвелла
- знать основы векторной алгебры и вычислительных методов
- знать основы электротехники
- уметь проводить операции с векторами в трехмерном пространстве
- уметь Строить решение задачи методом конечных разностей

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме	38	8	4	4	12	-	-	-	-	-	18	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b>                      Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы  <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>                      [2], с.3-13                      [4], с.10-27</p>
1.1	Постановка задач анализа физических явлений	9		1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной ф	11		1	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
1.3	Статические и стационарные задачи электромагнитного поля	18		2	4	4	-	-	-	-	-	8	-	
2	Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов	28		4	4	4	-	-	-	-	-	16	-	
2.1	Вариационный принцип и основы метода конечных элементов	10	2	-	-	-	-	-	-	-	8	-		
2.2	Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов	18	2	4	4	-	-	-	-	-	8	-		

3	Осесимметричные и нелинейные задачи электромагнитного контроля	42	4	4	8	-	-	-	-	-	26	-	<u><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b></u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], с.21-33 [3], с.13-23
3.1	Задачи электромагнитного контроля в осесимметричной постановке, нелинейные задачи	22	2	4	4	-	-	-	-	-	12	-	
3.2	Метод конечных элементов в трехмерной постановке	20	2	-	4	-	-	-	-	-	14	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>		<b>2</b>	-		<b>0.5</b>	<b>93.5</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме

#### 1.1. Постановка задач анализа физических явлений

Основы взаимодействия физических полей с веществом; физические явления и эффекты, используемые для получения измерительной информации в задачах неразрушающего контроля. Постановка и методы решения задач анализа и синтеза физических явлений и эффектов для создания средств измерения, диагностики и контроля. История методов анализа электромагнитного поля. Основные соотношения векторной и скалярной алгебры, свойства векторных полей. Современное состояние методов анализа и проектирования средств электромагнитной интроскопии.

#### 1.2. Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной ф

Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме (соотношение векторов электрического и магнитного поля, свойства материалов: линейные, нелинейные, анизотропные, гистерезисные). Классификация задач электромагнитного поля (статические, стационарные, квазистационарные - изменяющиеся по гармоническому закону, нестационарные). Уравнения в частных производных: уравнения Лапласа и Пуассона, волновое уравнение, уравнение диффузии.

#### 1.3. Статические и стационарные задачи электромагнитного поля

Статические и стационарные задачи электромагнитного поля (электростатическое поле в диэлектриках, поле стационарных токов в проводниках, поля в магнетиках, описываемые скалярным и/или векторным потенциалом, поле, описываемое векторным электрическим потенциалом). Граничные условия на поверхности проводника в электростатическом поле. Граничные условия на поверхности раздела электропроводящих сред. Граничные условия для магнитной индукции и напряженности магнитного поля на поверхности раздела сред.

### 2. Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов

#### 2.1. Вариационный принцип и основы метода конечных элементов

Основы вариационного подхода, вывод функционалов из дифференциальных уравнений, функционалы, включающие скалярные потенциалы, функционалы с векторным потенциалом. Основы метода конечных элементов: требования к дискретизации области на конечные элементы, вывод уравнения для конкретного конечного элемента, объединение уравнений в общую систему.

#### 2.2. Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов

Практическая реализация вариационного подхода в применении: к электростатической задаче, к задаче стационарных токов, к статическим и стационарным магнитным полям, описываемым скалярным и/или векторным потенциалами, к полям, описываемым электрическим векторным потенциалом.

### 3. Осесимметричные и нелинейные задачи электромагнитного контроля

#### 3.1. Задачи электромагнитного контроля в осесимметричной постановке, нелинейные задачи

Применение метода конечных элементов к осесимметричным структурам объектов контроля и источников поля, дискретизация области решения на конечные элементы, вывод уравнения для конкретного конечного элемента, особенности решения в анизотропных

средах. Нелинейные задачи магнитного контроля, описание свойств ферромагнетиков и постоянных магнитов. Метод простых итераций, метод Ньютона-Рафсона.

### 3.2. Метод конечных элементов в трехмерной постановке

Метод конечных элементов в трехмерной постановке. Трехмерная задача, описываемая скалярным потенциалом (тетраэдр первого порядка, применение вариационного подхода, модель постоянного магнита). Методы взвешанных невязок в трехмерных задачах (методы Галеркина, коллокации, наименьших квадратов).

### 3.3. Темы практических занятий

1. Решение задач векторной и скалярной алгебры.;
2. Решение простейших задач электростатического поля с использованием уравнений в частных производных.;
3. Решение простейших задач электрического стационарного поля с проводящих средах.;
4. Решение задач магнитостатического поля с использованием скалярного потенциала.;
5. Стационарные задачи магнитного поля.;
6. Решение задач электростатического поля методом конечных разностей.;
7. Решение осесимметричной задачи стационарного поля методом конечных разностей.;
8. Решение задачи электромагнитного поля методом конечных элементов..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа №1 «ПОЛУЧЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ГЛУБИНЫ ТРЕЩИН ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ»;
2. Лабораторная работа №2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЁМКОСТНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ В НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ»;
3. Лабораторная работа №3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ТРЕЩИНЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПОД УГЛОМ К ПОВЕРХНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛАСТИНЫ».

### 3.5 Консультации

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Осесимметричные и нелинейные задачи электромагнитного контроля"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
<b>Знать:</b>					
основные законы распределения электромагнитного поля в пространстве	ИД-9 <sub>ОПК-1</sub>	+	+		Лабораторная работа/Лабораторная работа #1 Тестирование/Тест № 1 Уравнения, характеризующие электромагнитные методы контроля
<b>Уметь:</b>					
выполнять математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований	ИД-9 <sub>ОПК-1</sub>	+	+	+	Лабораторная работа/Лабораторная работа #2 Лабораторная работа/Лабораторная работа № 3 Тестирование/Тест № 2 Метод конечных элементов в вариационной постановке Тестирование/Тест #3 Осесимметричные, нелинейные и трехмерные задачи

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**8 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Лабораторная работа № 3 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Тест #3 Осесимметричные, нелинейные и трехмерные задачи (Тестирование)
2. Тест № 1 Уравнения, характеризующие электромагнитные методы контроля (Тестирование)
3. Тест № 2 Метод конечных элементов в вариационной постановке (Тестирование)

Форма реализации: Защита задания

1. Лабораторная работа #1 (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа #2 (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Лунин, В. П. Численные модели в интроскопии : учебное пособие. -Электрон. текстовые, граф. дан / В. П. Лунин, А. Г. Жданов, Е. А. Куликова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : МЭИ (ТУ), 2008 . – 1 электрон. опт. диск . - Систем. требования: Windows XP SP2/2003 . – Загл. с экрана .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1796](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1796);

2. Лунин, В. П. Модельные исследования процедуры вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС : учебное пособие по курсам "Численные модели в интроскопии", "Математическое моделирование в приборных системах" по направлению "Приборостроение" / В. П. Лунин, А. Г. Жданов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 44 с. - ISBN 978-5-7046-1585-9 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6991](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6991);

3. Методические указания по проведению практических занятий на ПЭВМ с пакетом программ конечно-элементного анализа электромагнитных полей MagNum / В. П. Лунин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ), и др. – 1996 . – 48 с.;

4. Васильев Б. Е.- "Численное моделирование процессов в авиационных двигателях и энергоустановках", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2018 - (78 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/172866>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Scilab.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-310, Учебная лаборатория	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения книг, стол, стол компьютерный, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-310, Учебная лаборатория	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения книг, стол, стол компьютерный, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-400/1, Учебная аудитория каф. "ЭИ"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, вешалка для одежды, тумба, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер, стенд лабораторный, сменные запчасти для ЭВМ
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-400/1, Учебная аудитория каф. "ЭИ"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, вешалка для одежды, тумба, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, кондиционер, стенд лабораторный, сменные запчасти для

		ЭВМ
	В-310, Учебная лаборатория	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения книг, стол, стол компьютерный, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-306/1, Кабинет сотрудников	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стеллаж, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-308/1, Кладовая	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Численные модели в интроскопии

(название дисциплины)

#### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест № 1 Уравнения, характеризующие электромагнитные методы контроля (Тестирование)
- КМ-2 Тест № 2 Метод конечных элементов в вариационной постановке (Тестирование)
- КМ-3 Тест #3 Осесимметричные, нелинейные и трехмерные задачи (Тестирование)
- КМ-4 Лабораторная работа #1 (Лабораторная работа)
- КМ-5 Лабораторная работа #2 (Лабораторная работа)
- КМ-6 Лабораторная работа № 3 (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	11	5	9	12
1	Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме							
1.1	Постановка задач анализа физических явлений		+			+		
1.2	Уравнения электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной ф		+			+		
1.3	Статические и стационарные задачи электромагнитного поля			+	+		+	+
2	Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов							
2.1	Вариационный принцип и основы метода конечных элементов		+			+		
2.2	Реализация вариационного подхода в методе конечных элементов			+	+		+	+
3	Осесимметричные и нелинейные задачи электромагнитного контроля							
3.1	Задачи электромагнитного контроля в осесимметричной постановке, нелинейные задачи			+	+		+	+
3.2	Метод конечных элементов в трехмерной постановке			+	+		+	+
Вес КМ, %:			10	10	10	25	25	20