

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Лазерная и оптическая измерительная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**АБЕРРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.01.05
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	6 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	6 семестр - 28 часа;
<b>Практические занятия</b>	6 семестр - 28 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	6 семестр - 16 часов;
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр - 103,2 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	6 семестр - 17,7 часов;
<b>Иная контактная работа</b>	6 семестр - 4 часа;
<b>включая:</b> Тестирование Контрольная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Защита курсовой работы</b>	6 семестр - 0,3 часа;
<b>Экзамен</b>	6 семестр - 0,5 часа;
	<b>всего - 0,8 часа</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Евтихиева О.А.
	Идентификатор	R0243dc26-YevtikhiyevaOA-2430dc

О.А. Евтихиева


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74bc

Н.М.  
Скорнякова

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74bc

Н.М.  
Скорнякова

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение основных видов оптических aberrаций, методов их расчета и возможности устранения.

### Задачи дисциплины

- Знакомство обучающихся с основными aberrациями оптических систем;
- Получение информации о возможностях устранения aberrаций;
- Приобретение навыков расчета aberrаций оптических систем различными методами.

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
ПК-1 Способен участвовать в проектировании квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля	ИД-З <sub>ПК-1</sub> Знает особенности разработки эскизных и технических проектов, технического задания на разработку составных частей квантово-оптических систем	знать: - Основные виды aberrаций. Основные характеристики оптических систем, влияющие на качество изображения.; - Методы расчета aberrаций оптических систем..  уметь: - Самостоятельно разбираться в различных методиках расчета оптических систем и применять их для решения поставленной задачи.; - Выбирать методы расчета оптико-электронных приборов для решений конкретных задач. Осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета aberrаций оптических систем, схем и устройств различного функционального назначения..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Лазерная и оптическая измерительная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы физической и геометрической оптики
- уметь проводить расчет квантово-оптических систем в рамках физической и геометрической оптики

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 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ 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	Монохроматические аберрации	60	6	15	-	15	-	-	-	-	-	30	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Выполнение домашнего задания.</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Проработка и повторение лекционного материала. Выполнение задания по курсовой работе.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к тесту №1.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Проработка и повторение лекционного и методического материалов.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 141-161 [2], 125 [3], 7-20, 51-72, 74-101</p>
1.1	Основные положения теории аберраций	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Монохроматические аберрации третьего порядка	40		10	-	10	-	-	-	-	-	20	-	
1.3	Монохроматические аберрации действительных лучей	12		3	-	3	-	-	-	-	-	6	-	
2	Хроматические аберрации	34		9	-	9	-	-	-	-	-	16	-	
2.1	Хроматические аберрации	20		5	-	5	-	-	-	-	-	10	-	
2.2	Аберрации тонкого компонента	14		4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	

													повторение лекционного и практического материала. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 162-170 [3], 134-187
3	Аберрации оптических систем	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Проработка и повторение лекционного материала. Выполнение задания по курсовой работе.
3.1	Аберрации типовых оптических систем	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Выполнение домашнего задания. <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к тесту №2 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Проработка и повторение лекционного и практического материала. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 138-143 [3], 206-219
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.0	-	-	-	14	-	4	-	0.3	17.7	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>0.8</b>	<b>69.7</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>28</b>	<b>-</b>	<b>28</b>	<b>16</b>		<b>4</b>		<b>0.8</b>	<b>103.2</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КТР – 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. Монохроматические aberrации

#### 1.1. Основные положения теории aberrаций

Уравнение эйконала. Условия получения идеального изображения точки на оптической оси, отрезка, перпендикулярного оптической оси. Анаберрационные преломляющие и отражающие поверхности. Функции Гамильтона. Монохроматические и хроматические aberrации. Лучевые aberrации (поперечные и продольные). Меридиональная и сагиттальная составляющие поперечной лучевой aberrации. Волновые aberrации. Связь между лучевыми и волновыми aberrациями (вывод с помощью функций Гамильтона)..

#### 1.2. Монохроматические aberrации третьего порядка

Область aberrаций третьего порядка (область Зейделя). Монохроматические aberrации 3-го порядка для осевой и внеосевой точек предмета на примере сферической преломляющей поверхности. Монохроматические aberrации сложной оптической системы. Коэффициенты А, В, С, Д и Е, определяющие зависимость aberrаций от параметров системы. Их значения при различных условиях нормировки. Сферическая aberrация 3-го порядка. Продольная и поперечная составляющие сферической aberrации. Уравнение aberrационной кривой при наличии в системе сферической aberrации. Графическое представление сферической aberrации. Плоскость наилучшей установки. Кома 3-го порядка. Aberrационная кривая в случае комы 3-го порядка. Условие синусов и условие изопланатизма. Астигматизм и кривизна поля изображения 3-го порядка. Астигматизм вдоль главного луча и вдоль оптической оси. Изображение внеосевых точек предмета, протяженных предметов и плоских предметов при наличии в системе астигматизма и кривизны поля изображения. Графическое представление астигматизма и кривизны поля изображения. Дисторсия 3-го порядка. Бочкообразная подушкообразная дисторсия..

#### 1.3. Монохроматические aberrации действительных лучей

Расчет монохроматической сферической aberrации и случае действительных лучей. Расчет комы в случае широкого наклонного пучка лучей. Формулы Юнга-Аббе для меридиональной и сагиттальной составляющих элементарных наклонных пучков. Расчет астигматизма и кривизны поля изображения с помощью уравнений Юнга-Аббе. Расчет дисторсии для действительных лучей..

### 2. Хроматические aberrации

#### 2.1. Хроматические aberrации

Хроматические aberrации параксиальной области и хроматические aberrации действительных лучей. Хроматическая aberrация положения изображения (хроматизм положения), хроматическая aberrация величины изображения (хроматизм увеличения). Первая и вторая хроматические суммы. Расчет хроматических aberrаций положения и величины изображения через 1-ый и 2-ой параксиальные лучи и с помощью хроматических сумм. Вторичный спектр положения и величины изображения. Сферохроматическая разность..

#### 2.2. Aberrации тонкого компонента

Хроматизм систем из тонких компонентов. Хроматизм тонкой линзы. Основной хроматический параметр. Связь между параметрами 1-ого и 2-ого параксиальных лучей в случае системы из тонких компонентов. Выражение сумм Зейделя в случае тонкого компонента через параметры 1-ого параксиального луча. Монохроматические aberrации 3-

его порядка. Возможности устранения монохроматических aberrаций 3-го порядка в случае тонкого компонента..

### 3. Аберрации оптических систем

#### 3.1. Аберрации типовых оптических систем

Хроматические и монохроматические aberrации одиночной линзы, апланатические линзы, астигматические линзы. Аберрации плоскопараллельных пластин. Расчет оптической системы на минимум сферической aberrации. Хроматические aberrации двухлинзовых объективов..

#### **3.3. Темы практических занятий**

1. Аберрации тонкого компонента.;
2. Расчет сферической aberrации для действительных лучей.;
3. Расчет комы для широкого наклонного пучка лучей.;
4. Расчет хроматизма увеличения с помощью 2-ого парааксиального луча и 2-ой суммы Зейделя.;
5. Расчет астигматизма и кривизны поля изображения с помощью 2-ой и 3-ей сумм Зейделя.;
6. Расчет aberrации комы с помощью 2-ой суммы Зейделя.;
7. Расчет сферической aberrации с помощью 1-ой суммы Зейделя.;
8. Аберрации типовых оптических систем.;
9. Расчет хроматизма положения с помощью 1-ого парааксиального луча и 1-ой суммы Зейделя.;
10. Расчет дисторсии в случае действительных лучей.;
11. Расчет астигматизма и кривизны поля изображения с помощью уравнений Юнге-Аббе.;
12. Расчет дисторсии с помощью 5-ой суммы Зейделя..

#### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

#### **3.5 Консультации**

##### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Расчет монохроматических aberrаций для действительных лучей. Определение положения плоскости наилучшей установки.
2. Расчет хроматической aberrации положения изображения.
3. Расчет кардинальных элементов и монохроматических aberrаций оптических систем

##### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Монохроматические aberrации"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Хроматические aberrации"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Аберрации оптических систем"

##### Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Расчет aberrаций третьего порядка с помощью формул Зейделя.
2. Расчет хроматической aberrации величины изображения
3. Расчет хроматических aberrаций оптических систем

#### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

**6 Семестр**

## Курсовая работа (КР)

Темы:

- Аберрационный расчет ахроматического дуплета; Аберрационный расчет ахроматического триплета; Аберрационный расчет дуплета с воздушным промежутком; Аберрационный расчет склеенного дуплета ; Аберрационный расчет триплета Кука.

### График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 8	9 - 11	12 - 14	15 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	1	1	1	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	40	25	25	10	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	40	65	90	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Текущий контроль выполнения курсовой работы



### 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>					
Методы расчета aberrаций оптических систем.	ИД-ЗПК-1	+			Контрольная работа/Контрольная работа №1
Основные виды aberrаций. Основные характеристики оптических систем, влияющие на качество изображения.	ИД-ЗПК-1	+			Тестирование/Тест №1
<b>Уметь:</b>					
Выбирать методы расчета оптико-электронных приборов для решений конкретных задач. Осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета aberrаций оптических систем, схем и устройств различного функционального назначения.	ИД-ЗПК-1	+	+		Контрольная работа/Контрольная работа №2
Самостоятельно разбираться в различных методиках расчета оптических систем и применять их для решения поставленной задачи.	ИД-ЗПК-1		+	+	Тестирование/Тест №2

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

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

**6 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)
3. Тест №1 (Тестирование)
4. Тест №2 (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

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

Экзамен (Семестр №6)

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

Курсовая работа (КР) (Семестр №6)

Оценка за курсовую работу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющей.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

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

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

1. Евтихиева, О. А. Информационная оптика. Сборник задач : учебное пособие для вузов по специальности 210103 "Квантовая и оптическая электроника" направления 210100 "Электроника и микроэлектроника" / О. А. Евтихиева, К. М. Лапицкий, Б. С. Ринкевичюс, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 88 с. – ISBN 978-5-383-00474-6.

[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1655;](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1655)

2. Можаров Г. А.- "Теория аберраций оптических систем", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2013 - (288 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=12936;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=12936)

3. Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И.- "Теория оптических систем", (4-е изд.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2008 - (448 с.)

[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=147.](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=147)

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);

#### 4. SmathStudio.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

### 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
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	А-111/1, Компьютерный класс каф. Физики	стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, компьютер персональный
Помещения для консультирования	А-201/1, Кабинет сотрудников каф. Физики	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	стеллаж для хранения инвентаря, инвентарь специализированный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Аберрационный расчет оптико-электронных приборов

(название дисциплины)

## 6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест №1 (Тестирование)  
 КМ-2 Контрольная работа №1 (Контрольная работа)  
 КМ-3 Контрольная работа №2 (Контрольная работа)  
 КМ-4 Тест №2 (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	14
1	Монохроматические аберрации					
1.1	Основные положения теории аберраций		+			
1.2	Монохроматические аберрации третьего порядка		+	+		
1.3	Монохроматические аберрации действительных лучей				+	
2	Хроматические аберрации					
2.1	Хроматические аберрации				+	+
2.2	Аберрации тонкого компонента				+	+
3	Аберрации оптических систем					
3.1	Аберрации типовых оптических систем					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Аберрационный расчет оптико-электронных приборов**

(название дисциплины)

**6 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:**

- КМ-1 Расчет монохроматических аберраций третьего порядка
- КМ-2 Расчет монохроматических аберраций для действительных лучей
- КМ-3 Расчет хроматических аберраций
- КМ-4 Оформление курсовой работы

**Вид промежуточной аттестации – защита КР.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	8	11	14	16
1	Текущий контроль выполнения курсовой работы		+	+	+	+
Вес КМ, %:			40	25	25	10