

**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**  
**АДАПТИВНЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.07</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 59,7 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>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>7 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Печинская О.В.
	Идентификатор	Re5ee8217-ZhukovaOV-c5929df5

(подпись)


О.В. Печинская

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)


Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение принципов работы адаптивных оптико-электронных систем, а также особенностей формирования изображения при наличии случайных неоднородных сред.

### Задачи дисциплины

- изучение принципов построения адаптивных оптических систем;
- изучение свойств неоднородной среды и её влияния на формирование изображения;
- ознакомление с методами измерения и коррекции деформаций волнового фронта;
- знакомство с перспективными направлениями развития адаптивных оптических систем.

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 осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Разработка нормативно-технической документации для проектов квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	знать: - принципиальные схемы и основные типы адаптивных оптико-электронных систем.  уметь: - рассчитывать остаточную ошибку коррекции волнового фронта и параметры корректора.
ПК-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-6 <sub>ПК-1</sub> Разработка технических заданий на разработку квантово-оптических систем в целом и их составных частей, эскизных и технических проектов	знать: - основные методы измерений деформаций волнового фронта и критерии оценки качества изображения.  уметь: - анализировать параметры турбулентной атмосферы, структуру и качество изображения при наличии случайных неоднородных сред.

## 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 оптики
- знать интегральное и дифференциальное исчисление
- знать основы статистического анализа случайных процессов
- уметь оценивать структуру и качество изображения, даваемого оптической системой при распространении излучения в однородной среде
- уметь выполнять численное интегрирование и дифференцирование

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 3 зачетных единицы, 108 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	Принципы построения адаптивных оптических систем	16.0	7	4.0	-	2.0	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Принципы построения адаптивных оптических систем" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 5-10 [3], 22-53</p>
1.1	Принципиальные схемы адаптивных оптических систем	6.5		2	-	0.5	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Основные типы адаптивных оптических систем	6.0		1.5	-	0.5	-	-	-	-	-	4	-	
1.3	Сравнительный анализ типовых адаптивных оптических систем	3.5		0.5	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
2	Основные методы измерений деформаций волнового фронта	24		8	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2.1	Датчики волнового фронта	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные методы измерений деформаций волнового фронта" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 11-25 [2], 68-89 [4], 28-55</p>	
2.2	Интерференционные датчики	5	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
2.3	Датчики гартмановского типа	5	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
2.4	Другие типы датчиков волнового фронта	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-		
3	Структура и качество изображения при наличии случайных	30.0		10.0	-	6	-	-	-	-	-	14	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу "Структура и качество изображения при наличии</p>

	неоднородных сред												случайных неоднородных сред" и подготовка к контрольной работе
3.1	Структура и качество изображения точечного источника, даваемого оптической системой	8.5	2.5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 26-36
3.2	Структура изображения, даваемого оптической системой с центральным экранированием	6.5	2.5	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
3.3	Структура изображения, даваемого оптической системой с синтезированной апертурой	6.5	2.5	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
3.4	Распространение излучения при наличии случайных неоднородных сред	8.5	2.5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
4	Коррекция деформаций волнового фронта	20	10	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Коррекция деформаций волнового фронта" и подготовка к контрольной работе
4.1	Фазовая коррекция	7	3	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Наблюдение двух объектов	6	3	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 37-51 [5], 122-129, 168-205
4.3	Корректоры волнового фронта	7	4	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	32.0	-	16.0	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0	32.0	-	16.0	-	-	-	-	0.3	59.7		

**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. Принципы построения адаптивных оптических систем

#### 1.1. Принципиальные схемы адаптивных оптических систем

Системы с прямым управлением и с обратной связью. Принципы комбинированного управления и адаптации. Метод фазового сопряжения. Метод апертурного зондирования.

#### 1.2. Основные типы адаптивных оптических систем

Системы наблюдения удалённых объектов. Системы подсветки удалённых объектов.

#### 1.3. Сравнительный анализ типовых адаптивных оптических систем

Сравнительный анализ систем, построенных по принципу фазового сопряжения волновых фронтов и систем с апертурным зондированием.

### 2. Основные методы измерений деформаций волнового фронта

#### 2.1. Датчики волнового фронта

Общие сведения. Требования, предъявляемые к датчикам волнового фронта.

#### 2.2. Интерференционные датчики

Сдвиговые интерферометры. Восстановление формы волнового фронта по интерферограмме.

#### 2.3. Датчики гартмановского типа

Метод Гартмана. Восстановление формы волнового фронта по гартманограмме. Метод Шека-Гартмана. Разложение функции волновой аберрации по полиномам Цернике.

#### 2.4. Другие типы датчиков волнового фронта

Датчики кривизны. Пирамидальные датчики.

### 3. Структура и качество изображения при наличии случайных неоднородных сред

#### 3.1. Структура и качество изображения точечного источника, даваемого оптической системой

Структура изображения точечного источника в приближении идеальной оптической системы. Функция рассеяния точки. Оптическая система как фильтр пространственных частот. Оптическая передаточная функция. Число Штреля, критерий Марешаля, доля энергии в кружке рассеяния и другие критерии оценки качества изображения, даваемого оптической системой.

#### 3.2. Структура изображения, даваемого оптической системой с центральным экранированием

Линейный коэффициент центрального экранирования. Оптическая передаточная функция системы с центральным экранированием.

#### 3.3. Структура изображения, даваемого оптической системой с синтезированной апертурой

Системы с синтезированной апертурой: сегментированные зеркала, звёздный интерферометр Майкельсона. Оптическая передаточная функция звёздного интерферометра

Майкельсона. Звёздный интерферометр Майкельсона - переменный фильтр пространственных частот..

3.4. Распространение излучения при наличии случайных неоднородных сред  
Процессы в атмосфере. Структурная функция. Волновое уравнение для случая неоднородной среды. Оптическая передаточная функция атмосферы. Атмосферный радиус когерентности.

#### 4. Коррекция деформаций волнового фронта

##### 4.1. Фазовая коррекция

Источники погрешностей. Простейший контур управления. Идеальный модальный корректор Цернике. Остаточная ошибка коррекции волнового фронта.

##### 4.2. Наблюдение двух объектов

Анизопланатизм. Остаточная ошибка коррекции при наблюдении двух объектов. Алгоритм взвешенной коррекции и алгоритм равноправных объектов.

##### 4.3. Корректоры волнового фронта

Классификация корректоров. Сегментированные зеркала. Биморфные зеркала.

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

1. Остаточная ошибка коррекции деформаций волнового фронта.;
2. Обобщающее занятие.;
3. Сравнительный анализ различных схем адаптивной оптики.;
4. Обработка гартманограммы, оценка дисперсии фотонного шума для датчиков разных типов.;
5. Параметры турбулентной атмосферы.;
6. Оптические передаточные функции оптического тракта.;
7. Разложение функции волновой абберации по полиномиальным функциям..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Принципы построения адаптивных оптических систем"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные методы измерений деформаций волнового фронта"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Структура и качество изображения при наличии случайных неоднородных сред"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Коррекция деформаций волнового фронта"



### **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	4	
<b>Знать:</b>						
принципиальные схемы и основные типы адаптивных оптико-электронных систем	ИД-5ПК-1	+				Тестирование/Принципиальные схемы адаптивных оптико-электронных систем
основные методы измерений деформаций волнового фронта и критерии оценки качества изображения	ИД-6ПК-1		+	+		Тестирование/Методы измерений деформаций волнового фронта
<b>Уметь:</b>						
рассчитывать остаточную ошибку коррекции волнового фронта и параметры корректора	ИД-5ПК-1				+	Контрольная работа/Коррекция деформаций волнового фронта
анализировать параметры турбулентной атмосферы, структуру и качество изображения при наличии случайных неоднородных сред	ИД-6ПК-1			+		Контрольная работа/Характеристики турбулентной атмосферы

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

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

**7 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Коррекция деформаций волнового фронта (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы измерений деформаций волнового фронта (Тестирование)
2. Принципиальные схемы адаптивных оптико-электронных систем (Тестирование)
3. Характеристики турбулентной атмосферы (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

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

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

1. Печинская, О. В. Адаптивные оптические системы : учебное пособие по курсу "Адаптивная оптика" для бакалавров по направлению 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника" / О. В. Печинская, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 54 с. - ISBN 978-5-7046-1947-5 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10162;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10162)
2. Шанин, О. И. Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках / О. И. Шанин . – М. : Техносфера, 2012 . – 200 с. - ISBN 978-5-94836-313-4 .;
3. Шанин, О. И. Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика / О. И. Шанин . – М. : Техносфера, 2013 . – 296 с. - ISBN 978-5-94836-347-9 .;
4. О. И. Шанин- "Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках", Издательство: "РИЦ Техносфера", Москва, 2012 - (200 с.)  
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214291;](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214291)
5. О. И. Шанин- "Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика", Издательство: "Техносфера", Москва, 2013 - (296 с.)  
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233731.](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233731)

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Scilab;
5. SmathStudio;
6. GNU Octave.

### 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. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
11. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
12. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
13. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
14. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
15. Журналы научного общества Optical Society of America (OSA) - <https://www.osapublishing.org/about.cfm>
16. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
17. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
18. Журналы научного общества Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Digital Library - <https://www.spiedigitallibrary.org/>
19. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
20. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
21. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http://proinfosoft.ru;](http://proinfosoft.ru;)  
<http://docs.cntd.ru/>
22. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
23. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
24. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
25. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических	А-205, Учебная лаборатория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая

занятий, КР и КП	"Квантовая и оптическая электроника"	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-204, Учебная аудитория каф. Физики	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, колонки
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, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Адаптивные оптико-электронные системы**

(название дисциплины)

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

КМ-1 Принципиальные схемы адаптивных оптико-электронных систем (Тестирование)

КМ-2 Методы измерений деформаций волнового фронта (Тестирование)

КМ-3 Характеристики турбулентной атмосферы (Контрольная работа)

КМ-4 Коррекция деформаций волнового фронта (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Принципы построения адаптивных оптических систем					
1.1	Принципиальные схемы адаптивных оптических систем		+			
1.2	Основные типы адаптивных оптических систем		+			
1.3	Сравнительный анализ типовых адаптивных оптических систем		+			
2	Основные методы измерений деформаций волнового фронта					
2.1	Датчики волнового фронта			+		
2.2	Интерференционные датчики			+		
2.3	Датчики гартмановского типа			+		
2.4	Другие типы датчиков волнового фронта			+		
3	Структура и качество изображения при наличии случайных неоднородных сред					
3.1	Структура и качество изображения точечного источника, даваемого оптической системой			+		
3.2	Структура изображения, даваемого оптической системой с центральным экранированием			+		
3.3	Структура изображения, даваемого оптической системой с синтезированной апертурой			+		
3.4	Распространение излучения при наличии случайных неоднородных сред				+	
4	Коррекция деформаций волнового фронта					

4.1	Фазовая коррекция				+
4.2	Наблюдение двух объектов				+
4.3	Корректоры волнового фронта				+
Вес КМ, %:		15	25	25	35