

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

\_\_\_\_\_ К.С. Хорьков



« 30 » августа 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ»**

**направление подготовки / специальность**

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

**направленность (профиль) подготовки**

Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

г. Владимир

2022

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Системы адаптивной оптики и их приложения» является ознакомление (в том числе на практике) с техническими аспектами разработки и применения активных оптических систем, построенных на принципах адаптивной оптики.

Задачи дисциплины:

- получение новых знаний в области адаптивной оптики;
- освоение практического опыта работы с современными адаптивными системами и оборудованием для диагностики лазерного излучения;
- приобретение умений по эксплуатации современных адаптивных оптических систем и использованию современного оборудования для диагностики лазерного излучения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Системы адаптивной оптики и их приложения» относится к вариативным дисциплинам блока Б1 Дисциплины (модули) учебного плана.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен анализировать научно-техническую проблему, формулировать цель, задачи и план научного исследования в области лазерной техники и технологий	<p>ПК-1.1. Знает типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования, примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками составления описания планируемого научного исследования, использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области лазерной техники и лазерных технологий.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования в области адаптивной оптики;</li> <li>• примеры постановки задач научных исследований в области адаптивной оптики.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками составления описания планируемого научного исследования в области адаптивной оптики.</li> </ul>	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>
ПК-2. Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем	<p>ПК-2.1. Знает методы и средства теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности с учётом требований безопасности.</p> <p>ПК-2.2. Умеет проводить теоретические и экспериментальные исследования в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-2.3. Владеет навыками целенаправленного планирования, проведения математических и физических экспериментов в области профессиональной деятельности и анализа их</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы и средства измерений параметров лазерного излучения, применяемых в адаптивной оптике.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить теоретические и экспериментальные исследования в области адаптивной оптики.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками целенаправленного планирования;</li> <li>• навыками проведения математических и физических экспериментов в области</li> </ul>	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

	результатов, в том числе с использованием средств автоматизации.	адаптивной оптики.	
--	--	--------------------	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Структура и классификация систем адаптивной оптики	3	1-2	2	–	–	–	18	
2	Элементы систем адаптивной оптики	3	3-6	4	–	6	6	21	рейтинг-контроль №1
3	Электронное и программное обеспечение систем адаптивной оптики	3	7-10	4	–	6	6	21	рейтинг-контроль №2
4	Приложения адаптивных оптических систем	3	11-18	8		6	6	21	рейтинг-контроль №3
Всего за 3 семестр:		–	–	18	–	18	18	81	экзамен (27 ч)
Наличие в дисциплине КП/КР		–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по дисциплине		–	–	18	–	18	–	81	экзамен (27 ч)

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Структура и классификация систем адаптивной оптики.

Тема 1. Принципиальная схема адаптивной оптической системы.

Содержание темы: Составные элементы адаптивных оптических систем, их функции.

Тема 2. Классификация систем адаптивной оптики.

Содержание темы: Классификация систем адаптивной оптики. Основные задачи, которые могут быть решены методами и элементами адаптивной оптики.

##### Раздел 2. Элементы систем адаптивной оптики.

Тема 1. Корректор волнового фронта.

Содержание темы: Требования к корректору волнового фронта. Сегментированные корректоры волнового фронта. Мембранные корректоры волнового фронта. Микромашинные MEMS. Поршневые корректоры волнового фронта. Жидкокристаллические модуляторы; пластины с приводами. Биморфные зеркала. Преимущества биморфных деформируемых зеркал. Адаптивные зеркала малой апертуры

Тема 2. Датчик волнового фронта.

Содержание темы: Аберрации волнового фронта в виде полиномов Цернике. Искажение фокального пятна аберрациями волнового фронта. Принцип работы датчика Шака-Гартмана. Алгоритмы обработки изображения с датчика. Модификации датчиков волнового фронта.

Тема 3. M<sup>2</sup>-датчик.

Содержание темы: Принцип работы M<sup>2</sup>-датчика.

Тема 4. Система управления.

Содержание темы: Принцип работы системы управления.

##### Раздел 3. Электронное и программное обеспечение систем адаптивной оптики.

Тема 1. Адаптивный алгоритм фазового сопряжения.

Содержание темы: Адаптивный алгоритм фазового сопряжения.

Тема 2. Метод определения управляющих напряжений.

Содержание темы: Метод покоординатного спуска для определения корректирующих напряжений. Проблема выбора шага в методе покоординатного спуска. Генетический

алгоритм определения корректирующих напряжений. Гибридный метод определения корректирующих напряжений.

Тема 3. Электронный блок управления.

Содержание темы: Структура электронного блока управления адаптивной оптической системой.

**Раздел 4. Приложения адаптивных оптических систем.**

Тема 1. Приложения в оптике атмосферы.

Содержание темы: Влияние турбулентности атмосферы на качество изображения. Структурная функция. Основные принципы теории локальной структуры турбулентности. Случайные поглощающие фильтры. Случайные фазовые фильтры. Логарифмически-нормальное распределение амплитуды светового поля. Оптическая передаточная функция при длительной экспозиции. Оптическая передаточная функция при короткой экспозиции. Деформация поверхности главного зеркала телескопа. Оптическая схема телескопа с синтезированной апертурой. Варианты композиции оптических систем с синтезированной апертурой.

Тема 2. Приложения в оптических системах мощных лазеров.

Содержание темы: Проблемы качества излучения в современных мощных лазерах.

Тема 3. Приложения в лазерных технологиях.

Содержание темы: Материалы, применяемые для изготовления оптических зеркал.

### **Содержание лабораторных занятий**

**Раздел 2. Элементы систем адаптивной оптики.**

Тема 2. Датчик волнового фронта.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 1 «Юстировка датчика Шака-Гартмана».

Тема 3.  $M^2$ -датчик.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 2 «Управление параметром качества ( $M^2$  - параметра) лазерного пучка».

**Раздел 3. Электронное и программное обеспечение систем адаптивной оптики.**

Тема 1. Адаптивный алгоритм фазового сопряжения.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 3 «Коррекция аберраций лазерного излучения с использованием метода фазового сопряжения и методов апертурного зондирования».

Тема 3. Электронный блок управления.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 4 «Электронная система управления биморфными зеркалами».

**Раздел 4. Приложения адаптивных оптических систем.**

Тема 3. Приложения в лазерных технологиях.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 5 «Алгоритмы и программная реализация управления элементами адаптивной оптической системы».

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №1**

- 1) Составные элементы адаптивных оптических систем, их функции.
- 2) Основные задачи, которые могут быть решены методами и элементами адаптивной оптики.
- 3) Требования к корректору волнового фронта.

- 4) Сегментированные корректоры волнового фронта.
- 5) Мембранные корректоры волнового фронта.
- 6) Микромашинные MEMS.
- 7) Поршневые корректоры волнового фронта.
- 8) Жидкокристаллические модуляторы, пластины с приводами.
- 9) Биморфные зеркала.
- 10) Преимущества биморфных деформируемых зеркал.
- 11) Адаптивные зеркала малой апертуры.

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2**

- 1) Аберрации волнового фронта в виде полиномов Цернике.
- 2) Искажение фокального пятна аберрациями волнового фронта.
- 3) Принцип работы датчика Шака-Гартмана. Алгоритмы обработки изображения с датчика.
- 4) Модификации датчиков волнового фронта.
- 5) Адаптивный алгоритм фазового сопряжения.
- 6) Принцип работы  $M^2$ -датчика.
- 7) Метод покоординатного спуска для определения корректирующих напряжений.
- 8) Проблема выбора шага в методе покоординатного спуска.
- 9) Генетический алгоритм определения корректирующих напряжений.
- 10) Гибридный метод определения корректирующих напряжений.
- 11) Структура электронного блока управления адаптивной оптической системой.

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3**

- 1) Влияние турбулентности атмосферы на качество изображения.
- 2) Структурная функция.
- 3) Основные принципы теории локальной структуры турбулентности.
- 4) Случайные поглощающие фильтры.
- 5) Случайные фазовые фильтры.
- 6) Логарифмически-нормальное распределение амплитуды светового поля.
- 7) Оптическая передаточная функция при длительной экспозиции.
- 8) Оптическая передаточная функция при короткой экспозиции.
- 9) Деформация поверхности главного зеркала телескопа.
- 10) Материалы, применяемые для изготовления оптических зеркал.
- 11) Оптическая схема телескопа с синтезированной апертурой.
- 12) Варианты композиции оптических систем с синтезированной апертурой.
- 12) Проблемы качества излучения в современных мощных лазерах.

### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен.**

#### **Примерный перечень вопросов**

- 1) Принципиальная схема адаптивной оптической системы.
- 2) Классификация систем адаптивной оптики.
- 3) Мембранные и биморфные зеркала.
- 4) Корректор волнового фронта.
- 5) Датчик волнового фронта Шака-Гартмана.
- 6)  $M^2$ -датчик.
- 7) Структура и функционирование системы управления адаптивной оптической системой.
- 8) Адаптивный алгоритм фазового сопряжения.
- 9) Определение управляющих напряжений с помощью алгоритма покоординатного спуска.

- 10) Генетический алгоритм определения управляющих напряжений биморфного зеркала.
- 11) Структура электронного блока управления.
- 12) Применение адаптивных оптических систем в оптике атмосферы.
- 13) Применение адаптивных оптических систем в оптических системах мощных лазеров.
- 14) Применение адаптивных оптических систем в лазерных технологиях.

### **5.3. Самостоятельная работа обучающегося**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Системы адаптивной оптики и их приложения» включает в себя следующие виды деятельности:

1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторной.

2) Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине, на экзамене.

#### **Вопросы для самостоятельной работы студентов**

- 1) Устройства воздействия на волновой фронт.
- 2) Измерительные устройства.
- 3) Устройства обработки информации о результатах измерений.
- 4) Телескоп Цейсс-600.
- 5) Телескоп АСТ-1200.
- 6) Система компенсации атмосферных искажений в реальном времени.
- 7) Система Грегори.
- 8) Схема активной оптики крупного телескопа.
- 9) Виды аберраций волнового фронта.
- 10) Функция рассеяния точки.
- 11) Фотометрический метод контроля астрономической оптики.
- 12) Интерферометрия бокового сдвига.
- 13) Интерферометр с компенсатором в параллельном пучке лучей.
- 14) Интерферометр с компенсатором в расходящемся пучке лучей.
- 15) Датчик Шака-Гартмана.
- 16) Полиномы Цернике.
- 17) Функция рассеяния точки.
- 18) Функция рассеяния линии.
- 19) Теорема свёртки.
- 20) Функция передачи модуляции.
- 21) Виды экранирования поля зрачка.
- 22) Оптические системы с синтезированной апертурой.
- 23) Смещение поверхности зрачка в звёздном интерферометре Майкельсона.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронном каталоге ЭБС
<b>Основная литература</b>		
1. Оптические измерения: учебное пособие / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин [и др.]. - Москва: Университетская книга; Логос, 2020. - 416 с. - ISBN 978-5-98704-173-2. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1213072">https://znanium.com/catalog/product/1213072</a>
2. Оптические устройства измерения в физике высоких плотностей энергии : монография / под. ред. В.Д. Селемира, Ю.Б. Кудасова, О.М. Таценко. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2020. - 213 с. - ISBN 978-5-9515-0419-7. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1230849">https://znanium.com/catalog/product/1230849</a>
3. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы / Иродов И.Е.. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 264 с. - ISBN 978-5-00101-673-1. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://www.iprbookshop.ru/6557.html">https://www.iprbookshop.ru/6557.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
1. Дьяконов В.П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения / Дьяконов В.П.. - Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2017. - 800 с. - ISBN 978-5-91359-042-8. - Текст: электронный.	2017	<a href="https://www.iprbookshop.ru/90394.html">https://www.iprbookshop.ru/90394.html</a>
2. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика / Шанин О.И.. - Москва: Техносфера, 2013. - 296 с. - ISBN 978-5-94836-347-9. - Текст: электронный.	2013	<a href="https://www.iprbookshop.ru/26890.html">https://www.iprbookshop.ru/26890.html</a>
3. Ермолаева Е.В. Адаптивная оптика / Ермолаева Е.В., Зверев В.А., Филатов А.А.. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2012. - 301 с. - Текст: электронный.	2012	<a href="https://www.iprbookshop.ru/65761.html">https://www.iprbookshop.ru/65761.html</a>
4. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках / Шанин О.И.. - Москва: Техносфера, 2012. - 200 с. - ISBN 978-5-94836-313-4. - Текст: электронный	2012	<a href="http://www.iprbookshop.ru/16971.html">http://www.iprbookshop.ru/16971.html</a>

### 6.2. Периодические издания

- 1) Квантовая электроника, ISSN: 1063-7818.
- 2) Оптика атмосферы и океана, ISSN: 0869-5695.
- 3) Оптический журнал, ISSN: 0030-4042.
- 4) Applied Optics, ISSN: 2155-3165.

### 6.3. Интернет-ресурсы

- 1) Список публикаций сотрудников ООО «Активная оптика НайтН» // Режим доступа: [http://www.nightn.ru/files/publications/publications\\_ru.htm](http://www.nightn.ru/files/publications/publications_ru.htm).
- 2) Лаборатория адаптивной оптики Международного лазерного центра МГУ им. М.В.Ломоносова // Режим доступа: [http://www.ilc.msu.ru/science\\_education/laboratories/detail.php?ID=283](http://www.ilc.msu.ru/science_education/laboratories/detail.php?ID=283).
- 3) Учебное пособие по адаптивной оптике обсерватории Серро Тололо // Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1205112/intro.html>.
- 4) Лаборатория когерентной и адаптивной оптики Института оптики атмосферы имени В.Е.Зуева СО РАН // Режим доступа: <http://www.iao.ru/ru/structure/scidivs/2/39>.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

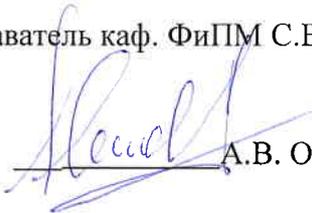
Лабораторные работы проводятся в научной лаборатории, где размещена система динамической коррекции фазовых искажений волнового фронта.

Рабочую программу составил старший преподаватель каф. ФиПМ С.В. Жирнова



Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»



А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики  
Протокол № 1 от 30.08.2022 года

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Абрахин

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол №1 от 30.08.2022 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

С.И. Абрахин

(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_