

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)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности



А.А.Панфилов

« 02 » 09

20 19г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Лазерные измерения

Направление подготовки 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»

Профиль/программа подготовки Лазерные и квантовые технологии

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной атте- стации (экзамен/зачет/зачет с оцен- кой)
6	5/180	36	18	18	72	экз/36 час
Итого	5/180	36	18	18	72	экз/36 час

Владимир 2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Лазерные измерения» являются формирование у обучающихся понимания физических основ методов и средств измерения параметров и характеристик лазерного излучения, получение практических навыков для последующего использования этих знаний при разработке и оптимизации методов, средств и технологий, использующих лазерное излучение.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Лазерные измерения» относится к базовой части основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Лазерная техника и лазерные технологии». Пререквизиты дисциплины: «Когерентная оптика», «Основы оптики» и «Прикладная оптика».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В результате освоения дисциплины в соответствии с учебным планом формируются компетенции ОПК-1, ОПК-3:

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)		
		Знать	Уметь	Владеть
<p><b>ОПК-1</b> Способность применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники;</p>	частичное	<ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы естественных наук;</li> <li>• методы математического анализа и моделирования;</li> <li>• основные законы и методы общинженерных дисциплин;</li> <li>• основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• методами расчетов и проектирования технологий и исследований на основе естественнонаучных и инженерных знаний;</li> <li>• методами и компьютерными системами, используемыми при моделировании и проектировании лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий;</li> </ul>
<p><b>ОПК-3</b> Способность проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учётом специфики методов и средств лазерных исследований и измерений.</p>	частичное	<ul style="list-style-type: none"> <li>• физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов;</li> <li>• методы и средства лазерных измерений;</li> <li>• принципы организации и проведения экспериментальных исследований;</li> <li>• предельные условия при постановке физического эксперимента;</li> <li>• числовые характеристики и распределения случайных величин;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий;</li> <li>• анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств;</li> <li>• составлять схемы для проведения экспериментальных исследований;</li> <li>• обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками работы со средствами лазерных измерений;</li> <li>• типовыми методиками выполнения лазерных измерений различных величин и характеристик;</li> <li>• навыками выполнения измерений, обработки данных измерительных наблюдений, получения результатов измерений и оценки погрешностей;</li> <li>• современными методами и средствами измерения, проверки и контроля с использованием информационных систем;</li> </ul>

#### 4. ОБЪЁМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические	Лабораторные	СРС		
1.	Основные параметры и характеристики лазерного излучения.	6	1 - 4	4	-	-	2	2/50%	
2.	Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.	6	5 - 6	8	2	-	2	-	Рейтинг-контроль №1
3.	Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.	6	7 - 10	8	4	12	-	-	
4.	Измерение когерентности лазерного излучения.	6	11-12	4	-	6	2	2/20%	Рейтинг-контроль №2
5.	Измерение поляризации лазерного излучения.	6	13	2	-	-	2	-	
6.	Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения	6	14-15	4	4	-	2	2/25%	
7.	Лазерные измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем	6	16	2	2	-	2	2/50%	
8.	Лазерные методы и средства измерения неоптических величин	6	17-18	4	6	-	6	8/80%	Рейтинг-контроль №3
Всего за 6 семестр:		6	18	36	18	18	72	16/22%	Экзамен 36
Наличие в дисциплине КПК/КР									
Итого по дисциплине		6	18	36	18	18	72	16/22%	Экзамен 36

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

##### Тема 1. Основные параметры и характеристики лазерного излучения.

Общие вопросы метрологии оптического излучения. Классификация оптических измерений. Средства измерений. Эталоны. Образцовые и рабочие средства измерений. Погрешности измерений. Временные, энергетические, спектральные, пространственно-временные. Параметры когерентности лазерного излучения. Степень когерентности, время когерентности, длина когерентности.

Тема 2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.

Измерение мощности и энергии лазерного излучения. Прямые измерения, калиброванные ослабители. Принцип и техническая реализация фотоэлектрических и тепловых преобразователей мощности и энергии излучения.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

Интегральные, пространственные и пространственно-временные измерения. Фотоэлектронные регистраторы. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения, основанные на нелинейных оптических эффектах.

Измерение расходимости лазерного излучения. Метод двух сечений. Метод диаграммы направленности. Метод фокального пятна.

Измерение распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Метод последовательного анализа. Матричный метод. Подготовка и проведение измерений, обработка результатов, показатели точности.

Томография поперечного сечения лазерного пучка. Боллометрический томограф. Метод ART.

Тема 4. Измерение когерентности лазерного излучения.

Интерференционные, поляризационные, дифракционные, голографические методы исследования когерентности. Измерение временной когерентности с помощью интерферометра Майкельсона. Измерение пространственной когерентности, интерферометр Юнга.

Тема 5. Измерение поляризации лазерного излучения.

Состояния поляризации света, параметры Стокса. Поляризационные устройства – анализаторы. Использование эффекта двойного лучепреломления.

Тема 6. Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения.

Дифракционные и призмные спектральные приборы. Измерение длины волны методом многолучевой интерферометрии. Интерферометр Фабри-Перо. Измерение частоты излучения лазеров путем когерентного детектирования.

#### Раздел 2. Оптико-физические измерения с использованием лазеров.

Тема 7. Методы измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем.

Измерение показателя преломления, дисперсии, неоднородности оптического стекла. Измерение толщины линз, воздушных промежутков, радиусов кривизны, формы поверхности.

Тема 8. Лазерные методы и средства измерения неоптических величин.

Лазерные измерители линейных размеров, лазерные методы измерения скоростей, лазерные гироскопы, лазерная спектроскопия, лазерный микроспектральный анализ состава материалов.

### **Содержание практических занятий по дисциплине.**

#### Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

Тема 2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.

Специфика воздействия лазерного излучения на средства измерения. Решение задач на расчет мощности излучения, направленности излучения гауссовых пучков. Пороговые значения плотности мощности, длительности воздействия, частоты следования импульсов.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

Алгоритм ART вычислительной томографии. Проекционная матрица, расчет строки проекционной матрицы. Выполнение итераций на простейших примерах. Оценка погрешности реконструкции.

Тема 6. Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения.

Измерение длины волны и ширины спектра лазерного излучения с помощью многолучевого интерферометра Фабри – Перо. Решение задач. Область дисперсии, разрешающая способность. Обработка результатов измерений. Сверхтонкая структура спектра излучения лазера на парах меди.

#### Раздел 2. Оптико-физические измерения с использованием лазеров.

Тема 7. Методы измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем.

Семинары с подготовкой, заслушиванием и обсуждением рефератов и презентаций по измерениям параметров оптических материалов с использованием лазеров.

Тема 8. Лазерные методы и средства измерения неоптических величин.

Семинары с подготовкой, заслушиванием и обсуждением рефератов и презентаций по измерениям неоптических величин с использованием лазеров.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине.**

## Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

*Лабораторная работа 1.* Измерение распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Практическое освоение методов реконструктивной томографии на основе проведения вычислительного эксперимента. Создание фантома, тестирование алгоритма реконструкции на фантоме. Анализ эффективности применения алгоритма. Разработка требований к оптимальной технике сбора данных в томографическом эксперименте.

*Лабораторная работа 2.* Измерение расходимости лазерного пучка с распределением, отличающимся от гауссова. Оценка погрешности измерений. Оценка параметра качества пучка.

Тема 4. Измерение когерентности лазерного излучения.

*Лабораторная работа 3.* Измерение когерентности лазерного излучения.

Наблюдение интерференционных полос равного наклона (колец) и измерение длины световой волны. Оценка порядка интерференции в центре картины. Измерение степени временной когерентности, оценка времени когерентности и длины когерентности.

Лабораторные работы выполняются в МатЛабе, используются специально разработанные функции для лазерных измерений.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «*Лазерные измерения*» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

Интерактивная лекция (тема № 1, 7);

Анализ ситуаций (тема № 6);

Разбор конкретных ситуаций (тема № 4);

Семинар-конференция (тема № 7, 8).

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

*а) вопросы рейтинг-контроля:*

### **Рейтинг-контроль 1**

1. Основные определения и единицы измерения энергетических параметров лазерного излучения.
2. Принцип и техническая реализация калориметрического метода измерений мощности и энергии излучения.
3. Принцип и техническая реализация фотоэлектрического метода измерений мощности и энергии излучения.
4. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить расходимость лазерного излучения в соответствии со стандартом ISO 11146-1:2005?
5. Какие измерения в методе двух сечений нужно выполнить, чтобы определить угловую расходимость по уровню 0.9?
6. Определить мощность и энергию импульсов излучения N<sub>2</sub>-лазера длительностью 10<sup>-8</sup> с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе 10<sup>7</sup> Вт/см<sup>2</sup>, если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.

7. Построить ход лучей лазерного пучка через линзу с фокусным расстоянием  $F$ . Определить зависимость диаметра пятна в фокусе от расходимости лазерного излучения  $\Theta$  и фокусного расстояния линзы.

8. Определить расходимость лазерного пучка, если зависимость его радиуса от расстояния определяется выражением:

$$w(x) = w_0 \left[ 1 + \left( \frac{x\lambda}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

9. Какие измерения в методе фокального пятна нужно выполнить, чтобы определить энергетическую расходимость по уровню 0.9?

### **Рейтинг-контроль 2**

1. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить степень временной когерентности лазерного излучения?

2. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить степень пространственной когерентности лазерного излучения?

3. Запишите уравнение для интенсивности света в интерференционной картине, образующейся при сложении двух волн с интенсивностями  $I_1$  и  $I_2$  в зависимости от разности фаз  $\Delta\phi_{12}$  этих волн.

4. Интерференция от двух источников. Временная и пространственная когерентность.

5. Измерение поляризации лазерного излучения. Как определить, является ли излучение лазера линейно-поляризованным?

6. Измерение поляризации лазерного излучения. Как определить, является ли излучение лазера излучением с круговой поляризацией?

7. Объясните, как изменится интерференционная картина в интерферометре Майкельсона при наклоне одного из зеркал.

8. Как с помощью интерферометра Майкельсона измерить длину волны монохроматического излучения?

### **Рейтинг-контроль 3**

1. Область дисперсии интерферометра Фабри-Перо.

2. Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо.

3. Приведите сравнительную характеристику методов измерения спектрального состава лазерного излучения (призмный, дифракционный, интерференционный методы).

4. Выведите формулу для разности хода между соседними лучами интерферометра Фабри-Перо.

5. Методы измерения распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Постановка задачи томографии. Боллометрический томограф.

6. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.

7. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения.

8. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.

### **б) вопросы к экзамену**

1. Основные понятия метрологии: средства измерений, результат и погрешности измерений, экспертные методы оценки качества, обработка результатов измерений, эталоны, поверочные схемы.

2. Интерференция от двух источников. Временная и пространственная когерентность.

3. Интерференционные полосы равного наклона.

4. Интерференционные полосы равной толщины.

5. Основные параметры и характеристики лазерного излучения. Временные, энергетические, спектральные, пространственно-временные.
6. Параметры когерентности лазерного излучения. Степень когерентности, время, длина когерентности.
7. Принцип и техническая реализация калориметрического метода измерений мощности и энергии излучения.
8. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.
9. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения, основанные на нелинейных оптических эффектах.
10. Измерение расходимости лазерного излучения. Метод двух сечений. Метод фокального пятна.
11. Измерение временной когерентности лазерного излучения.
12. Измерение пространственной когерентности лазерного излучения.
13. Методы измерения спектрального состава лазерного излучения. Интерферометр Фабри-Перо, разрешающая способность, область дисперсии интерферометра.
14. Методы измерения распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка.
15. Постановка задачи томографии. Общие принципы сбора экспериментальных данных. Томография поперечного сечения лазерного пучка. Болометрический томограф.
16. Прямое и обратное преобразования Радона. Понятие корректно поставленных и некорректно поставленных задач.
17. Общая характеристика алгебраических алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии. Проекционная матрица. Метод ART.

**с) примерные темы рефератов (самостоятельная работа студента)**

1. Лазерные методы измерения скоростей.
2. Лазерные гироскопы.
3. Основные типы лазерных дефектоскопов.
4. Лазерные методы измерения линейных размеров.
5. Лазерный проекционный микроскоп.
6. Основы использования голографии в устройствах лазерных измерений.
7. Голографическая интерферометрия.
8. Контроль деформаций поверхности объектов.
9. Применение лазера в качестве источника света при теневых исследованиях.
10. Лазерный анализ состава материалов.
11. Лазерная спектроскопия.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
Андреев А. Н., Гаврилов Е. В., Ишанин Г. Г. и др. Оптические измерения: учебное пособие. М.: Университетская книга: Логос	2012		<a href="http://znanium.com/bookread2.php?book=469178">http://znanium.com/bookread2.php?book=469178</a> .

Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие Бокшанский В.Б. и др. Под ред. Карасика В.Е. Издательство: (МГТУ им. Н.Э. Баумана),	2012		<a href="http://e.lanbook.com/view/book/58389/">http://e.lanbook.com/view/book/58389/</a>
Метрология и средства измерений: Учебное пособие / В.Ф. Пелевин. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание	2013		<a href="http://znanium.com/bookread2.php?book=469178">http://znanium.com/bookread2.php?book=469178</a>
Дополнительная литература			
Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики ; учебное пособие / С. М. Аракелян [и др.] ;— Владимир : ВлГУ	2010		
Лазерный гироскоп. Барыкин В.В. и др. Издательство:МГТУ им. Н.Э. Баумана	2010		<a href="http://e.lanbook.com/view/book/52341/">http://e.lanbook.com/view/book/52341/</a>
Современные проблемы оплотехники. Под ред. Карасика В.Е. МГТУ им. Н.Э. Баумана	2010		<a href="http://e.lanbook.com/view/book/52352/">http://e.lanbook.com/view/book/52352/</a>
Фемтосекундная оптика и фемтотехнологии. Беспалов В.Г., С. А. Козлов, Крылов В.Н., Путилин С.Э. - СПб: СПбГУ ИТМО	2010		
Вычислительная томография. Методические указания к лабораторным работам. Заякин А.А.-ВлГУ	2002		

## 7.2. Интернет-ресурсы


1. <http://www.quantum-electron.ru>
2. <http://ufn.ru>
3. <http://journals.ioffe.ru/pjtf>
4. <http://www.laser.ru>
5. <http://www.cislaser.com>



## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

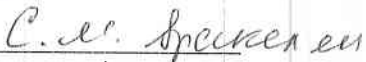
Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, оборудованных мультимедийным оборудованием (ауд. 420-3, ауд. 430-3). Практические/лабораторные работы проводятся в компьютерных классах кафедры ФиПМ (лаб. 511-3, лаб. 100-3). Используется лицензионное программное обеспечение *MATLAB*.

Для обеспечения проведения лабораторных работ имеются специализированные учебно-научные лаборатории, оборудованные современным оборудованием (лаб. 107-3, 107а-3, 419-3, 123-3).

Рабочую программу составил \_\_\_\_\_  А.А.Заякин  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) ген. дир. ООО "ВладМед" Писнев А.В.   
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_   
Протокол № 1 от 02.09.19 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_   
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»  
Протокол № 1 от 02.09.19 года  
Председатель комиссии \_\_\_\_\_   
(ФИО, подпись)



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_