

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института-заместитель
директора ФАКТ**

М.А. Кудров

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Методы и средства оптико-физических исследований
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.П. Кулеш, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 04.03.2025

Аннотация

Программа "Методы и средства оптико-физических исследований" направлена на ознакомление студентов с одним из современных направлений измерительной техники – оптико-физическими методами исследований (ОФМИ), объединяющим современные достижения в области оптики, лазерной техники, электроники, вычислительной техники, методов и средств цифровой регистрации и численной обработки изображений.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с одним из современных направлений измерительной техники – оптико-физическими методами исследований (ОФМИ), объединяющим современные достижения в области оптики, лазерной техники, электроники, вычислительной техники, методов и средств цифровой регистрации и численной обработки изображений.

Задачи дисциплины

- формирование общих знаний в области экспериментальной аэродинамики, информационно-измерительных систем, прикладной оптики, лазерной диагностики и прикладной математики;
- формирование базовых теоретических и практических основ в области разработки и применения оптико-физических методов и средств исследований и измерений в экспериментальной аэродинамике, прочности и смежных областях научных исследований;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области ОФМИ;
- приобретение практических навыков разработки и применения ОФМИ.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- место и роль оптико-физических методов (ОФМИ) в научных исследованиях, в экспериментальной аэродинамике;
- основные законы и явления в области физической и геометрической оптики, применяемые для бесконтактных исследований процессов экспериментальной аэродинамики и прочности;
- теоретические основы построения и анализа оптико-физических измерительных систем;
- основные физические и химические явления взаимодействия света с веществом, лежащие в основе первичного преобразования;
- принципы передачи, детектирования, регистрации и обработки оптического сигнала и изображений;
- экспериментальное оборудование, применяемое в оптико-физических измерительных системах;
- новейшие тенденции в развитии оптико-физических методов;
- основные направления в разработке и применении оптико-физических методов и средств исследований в области аэродинамики и прочности летательных аппаратов.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- анализировать поставленную задачу исследований или измерений и выбирать метод ее решения;
- рассчитывать основные параметры и характеристики оптико-физической измерительной системы и адаптировать ее к условиям экспериментальной установки;
- работать на современном, в том числе и уникальном, экспериментальном оборудовании с применением стандартного и специализированного программного обеспечения;
- проводить обработку изображений по стандартным методикам, разрабатывать новые оригинальные алгоритмы и программы обработки результатов измерений;
- видеть в поставленных задачах физическое содержание и обоснованно интерпретировать результаты оптико-физических методов исследований;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности, делать правильные выводы из сопоставления результатов измерений и теории или результатов разных методов измерений;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- основами программирования и численного моделирования исследуемых процессов и явлений;
- практикой применения методов и средств в экспериментальной аэродинамике.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Дифференциальная интерферометрия		2	2	10
2	Лазерная доплеровская анемометрия		2	2	

3	Методы видеограмметрии. Направления развития		4	4	
4	Методы лазерной диагностики. Гетеродинная интерферометрия		1	2	
5	Методы с цифровой регистрацией и численной обработкой изображений		1	2	
6	Нерепрозрачные методы изучения потоков вокруг модели. Методы изучения течений газа на поверхности модели		2	2	45
7	Обобщенная структура оптико-физических методов		2	2	
8	Общая характеристика предмета. Основные определения		2	2	
9	Оптико-физические методы измерений распределенных геометрических величин		2	2	
10	Основные положения геометрической оптики		2	2	
11	Основные принципы численной обработки изображений		2	2	
12	Основы рефракционных оптико-физических методов		2	2	
13	Теневые и интерференционные методы исследований потоков		2	1	
14	Элементы когерентной Фурье-оптики		2	1	
15	Лазерная доплеровская анемометрия		2	2	20
Итого часов			30	30	75
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Дифференциальная интерферометрия

Основы рефракционных методов исследования течений газа. Оптические характеристики газовой среды. Уравнения Лоренц-Лоренца и Гладстона-Дейла. Определение оптической неоднородности. Представление оптической неоднородности как оптического транспаранта.

2. Лазерная доплеровская анемометрия

Интерференция света, интерферометрия гомодинная и гетеродинная, интерференционные приборы: типы, назначения. Интерферометрия: двулучевая и многолучевая, дифференциальная интерферометрия, интерферометрия сдвига, спекл-интерферометрия, широкоспектральная. Визуализация и количественные исследования структуры течения газа.

3. Методы видеограмметрии. Направления развития

Фотограмметрия и видеограмметрия. Идентификация и позиционирование маркеров, треков, мелкомасштабной структуры. Рабочая характеристика, представление результатов.

Методы видеограмметрии (ВГМ). Основы и способы разрешения неопределенности задачи восстановления координат. Рабочая характеристика.

Типы и калибровка видеограмметрических систем. Методы видеограмметрии с маркерами. Принципы численной обработки результатов. Применения методов видеограмметрии.

4. Методы лазерной диагностики. Гетеродинная интерферометрия

Рефракционные методы визуализации оптической неоднородности. Метод Теплера как когерентный фильтр пространственных частот. Теневые методы визуализации течений газа в пространстве: прямой теневой, шпирный, растровый.

5. Методы с цифровой регистрацией и численной обработкой изображений

Гетеродинная лазерная интерферометрия. Основы первичного преобразования. Методы смещения частоты света. Эффект Доплера. Акустооптический частотный модулятор, электрооптический частотный модулятор.

6. Нерефракционные методы изучения потоков вокруг модели. Методы изучения течений газа на поверхности модели

Дифференциальная интерферометрия с фотографической и фотоэлектрической регистрацией, применения. Анализ изображений с квазипериодической структурой.

7. Обобщенная структура оптико-физических методов

Обобщенная структура оптико-физических методов. Четыре основных направления развития ОФМИ.

8. Общая характеристика предмета. Основные определения

Общая характеристика предмета. История развития ОФМИ и основные понятия. Основные определения. Первичное преобразование, модуляция, передача, детектирование и регистрация оптического сигнала.

9. Оптико-физические методы измерений распределенных геометрических величин

Оптико-физические методы измерений распределенных геометрических величин. Современные методы визуализации и измерений распределенных параметров потоков газа в пространстве вокруг модели. Метод лазерного ножа, метод PIV.

10. Основные положения геометрической оптики

Основные положения геометрической оптики. Элементы проективной геометрии.

11. Основные принципы численной обработки изображений

Основные принципы обработки изображений. Образование и решение математической регрессии. Представление результатов измерений с высокой плотностью точек.

12. Основы рефракционных оптико-физических методов

Элементы волновой оптики. Определение оптического сигнала. Основные положения Фурье-оптики, оптические элементы, оптический транспарант.

13. Теневые и интерференционные методы исследований потоков

Оптический каскад, оптическая система. Условие оптического сопряжения. Когерентный оптический фильтр пространственных частот.

14. Элементы когерентной Фурье-оптики

Рассеяние, поглощение, отражение света. Геометрическая и оптическая длина пути света. Поляризация света, преобразования Джонсона.

15. Лазерная доплеровская анемометрия

Описание теории лазерной доплеровской анемометрии.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Используемое лабораторное оборудование:

- макет теневого прибора Теплера (лаб.установка);
- макет лазерного 3D-сканера (лаб.установка);
- макет видеограмметрической системы с маркерами (лаб.установка);
- тест-объекты для калибровки (лаб.установка);
- рабочее место для обработки изображений.

Необходимое мультимедийное оборудование:

- персональный компьютер;
- проектор.

Необходимое программное обеспечение:

- среда математического моделирования MathCAD-14;
- пакет обработки изображений OMS;
- набор специализированных программ.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Успехи голографии. (Интерференция, голография, когерентность) [Текст]/Я. А. Смородинский, Л. М. Сороко, -М., Знание, 1970
2. Основы голографии и когерентной оптики / Л. М. Сороко - М.Наука,1971

Дополнительная литература

1. Оптика [Текст] / А. Н. Матвеев - М.Высшая школа,1985

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

www.tsagi.ru

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В результате изучения дисциплины «Методы и средства оптико-физических исследований» студент должен получить представление об использовании фундаментальных законов и теорий классической и современной физики в практике бесконтактных оптических измерений распределенных физических величин; знать порядки основных численных величин, характерных для механики, оптики и смежных разделов физики; ознакомиться с приемами практического применения современных методов математического анализа, статистики и численного моделирования.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль над самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: В.П. Кулеш, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы и средства оптико-физических исследований » обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- место и роль оптико-физических методов (ОФМИ) в научных исследованиях, в экспериментальной аэродинамике;
- основные законы и явления в области физической и геометрической оптики, применяемые для бесконтактных исследований процессов экспериментальной аэродинамики и прочности;
- теоретические основы построения и анализа оптико-физических измерительных систем;
- основные физические и химические явления взаимодействие света с веществом, лежащие в основе первичного преобразования;
- принципы передачи, детектирования, регистрации и обработки оптического сигнала и изображений;
- экспериментальное оборудование, применяемое в оптико-физических измерительных системах;
- новейшие тенденции в развитии оптико-физических методов;
- основные направления в разработке и применении оптико-физических методов и средств исследований в области аэродинамики и прочности летательных аппаратов.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- анализировать поставленную задачу исследований или измерений и выбирать метод ее решения;
- рассчитывать основные параметры и характеристики оптико-физической измерительной системы и адаптировать ее к условиям экспериментальной установки;
- работать на современном, в том числе и уникальном, экспериментальном оборудовании с применением стандартного и специализированного программного обеспечения;
- проводить обработку изображений по стандартным методикам, разрабатывать новые оригинальные алгоритмы и программы обработки результатов измерений;
- видеть в поставленных задачах физическое содержание и обоснованно интерпретировать результаты оптико-физических методов исследований;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности, делать правильные выводы из сопоставления результатов измерений и теории или результатов разных методов измерений;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- основами программирования и численного моделирования исследуемых процессов и явлений;
- практикой применения методов и средств в экспериментальной аэродинамике.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Электрооптический частотный модулятор.
2. Лазерный доплеровский анемометр – схема и принцип работы.
3. Основные пути (3) разрешения неопределенности задачи восстановления координат в видеограмметрии.
4. Рабочая характеристика и основные параметры видеограмметрической системы.
5. Калибровка ВГМ-систем. Основные функции (3).
6. Видеограмметрический метод измерений деформации модели в потоке аэродинамической трубы.
7. Видеограмметрический метод измерений положения модели.
8. Видеограмметрический метод измерений касательных деформаций образца.
9. Видеограмметрический метод измерений нормальных деформаций элементов конструкции.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Основные элементы Фурье-оптики.
2. Оптический каскад и условия оптического сопряжения оптического каскада.
3. Матрицы Джонсона для линейной и циркулярной поляризации света.
4. Уравнения Лоренц-Лоренца и Гладстона-Дейла. Значение коэффициента Гладстона-Дейла для воздуха при нормальных условиях.
5. Прямой и модифицированный прямой теневые методы.
6. Теневой прибор Теплера – схема и принцип работы.
7. Интерферометр сдвига – схема и принцип работы.
8. Гетеродинная интерферометрия – определение. Обобщенная схема и состав гетеродинного интерферометра.
9. Методы смещения частоты света.
10. Акустооптический частотный модулятор.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.