

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра аэрофизики и газовой динамики**



**Рабочая программа дисциплины**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ АЭРОФИЗИКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	72	30			20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа Компетенции ПК-1										

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	9

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» имеет своей целью обучение, ознакомление магистрантов-физиков кафедры аэрофизики и газовой динамики с современными установками и методами исследования в аэрофизическом эксперименте.

Дисциплина направлена на формирование у выпускника следующих компетенций:

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными методами подготовки и проведения современного аэрофизического эксперимента. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в котором студенты планируют проходить научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, высшая алгебра, «Физика и химия атомов и молекул», «Электromагнетизм и оптика», «Введение в технику физических экспериментов», практикумы КОФ: «Практикум по физической оптике», «Атомный практикум», спецкурс кафедры аэрофизики и газовой динамики "Физические основы и методы диагностики аэрофизических экспериментов").

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> принципы работы аэродинамических установок, основы диагностических методов, методы регистрации и обработки информации.</p> <p><b>Уметь</b> по поставленной задаче составить схему проведения эксперимента, выбрать соответствующую экспериментальную установку и методику измерения, оценить точность получаемого результата, продемонстрировать углубленные знания о современных аэрофизических установках и методах диагностики.</p> <p><b>Владеть</b> представлением о современных методах исследования в реальном аэрофизическом эксперименте.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» реализуется в осеннем семестре 2-го курса магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Дисциплина «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» обеспечивает знание методов подготов-

ки и проведения современного аэрофизического эксперимента. Для ее восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как «Физика и химия атомов и молекул», «Электромагнетизм и оптика», «Введение в технику физических экспериментов», «Практикум по физической оптике», «Атомный практикум», "Физические основы и методы оптической диагностики аэрофизического эксперимента". Данный курс необходим для магистрантов при проведении физических исследований по заданной тематике, при формулировке новых задач, возникающих в ходе научных исследований; выборе технических средств и необходимых методов исследования, подготовке оборудования для работы на экспериментальных аэрофизических установках.

**3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	72	30			20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций, опросы по пройденным темам в начале лекции
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 30 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 20 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 24 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 34 часа.

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

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 2-м курсе магистратуры физического фа-

культета НГУ в 3 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
			Всего	Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Аэродинамические установки	1-5	16	10		6	
2.	Термоанемометрия	6-10	16	10		6	
3.	Оптические методы диагностики	11-16	18	10		8	
4.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
5.	Групповая консультация		2				2
6.	Экзамен		2				2
	<b>Всего</b>		<b>72</b>	<b>30</b>		<b>20</b>	<b>22</b>

### Программа и основное содержание лекций (30 часов)

#### Раздел 1. Аэродинамические установки. (10 часов)

*Аэродинамические трубы.* Краткий исторический экскурс. Первые аэродинамические трубы (АТ). Необходимость использования АТ при проведении аэрофизических исследований. Принципы экспериментального моделирования в аэродинамике. Классификация аэродинамических установок. Характеристики потока в рабочей части АТ. Параметры моделирования. Требования к характеристикам потока. Метрологические характеристики АТ.

*Аэродинамические трубы малых скоростей.* Основные элементы АТ малых скоростей. Мощность двигателя, необходимая для обеспечения заданных параметров потока. Труба дозвуковых скоростей Т-324 ИТПМ СО РАН. Трубы дозвуковых скоростей ЦАГИ, труба LSWT (фирма Локхид Мартин, США), труба LSWT (Малайзия), автомобильные АТ.

*Аэродинамические трубы сверхзвуковых скоростей.* Основные элементы конструкции АТ сверхзвуковых скоростей периодического действия с выхлопом в атмосферу, с выхлопом в вакуумную емкость, эжекторные трубы, трисоник АТ. Основные элементы конструкции АТ высоких скоростей потока непрерывного действия. Конструкция аэродинамической трубы сверх- и гиперзвуковых скоростей потока Т-313 ИТПМ СО РАН. Уравнение 1-го закона термодинамики для потока. Уравнение обращенного воздействия. Сопло Лавалья. Конструкции сопел сверхзвуковых аэродинамических труб.

*Аэродинамические трубы трансзвуковых скоростей.* Основные элементы конструкции АТ трансзвукового диапазона скоростей. Характерные особенности обтекания модели при трансзвуковых скоростях потока. Трубы трансзвуковых скоростей ЦАГИ (Т-112, Т-106, Т-109, Т-128). Конструкции некоторых зарубежных труб трансзвуковых скоростей (S2MA ONERA, TVM500 Швеция, Wind Tunnel Complex NASA Glenn Research Center). Особенности проведения экспериментов при трансзвуковых скоростях потока.

*Аэродинамические трубы гиперзвуковых скоростей и высокоэнтуальпийные установки.* Основные типы труб гиперзвукового диапазона скоростей (периодического действия,

импульсные АТ, трубы Людвига, АТ с разрядной камерой, ударные АТ, ударные АТ, с тяжелым поршнем). Особенности определения параметров потока при гиперзвуковых скоростях. Особенности проведения испытаний (влияние числа Рейнольдса, важность проведения измерений теплового потока, проведение весовых испытаний). Траектория аэрокосмических аппаратов в параметрах число Маха, число Рейнольдса. Трубы гиперзвуковых скоростей ЦАГИ (Т-116, Т-117), импульсная труба гиперзвуковых скоростей Т-303 ИТПМ СО РАН, JAXA Hypersonic Wind Tunnels.

## **Раздел 2. Термоанемометрия (10 часов)**

*Датчики термоанемометра* - проволочные и пленочные. Теоретические основы измерения с помощью нагретых датчиков. Определяющие критерии подобия. Эмпирические законы теплообмена между нитью датчика и потоком. Закон Кинга. Влияние сжимаемости, температурного фактора. Прямое экспериментальное определение коэффициентов чувствительности датчика термоанемометра. Получение аналитических выражений для коэффициентов чувствительности датчиков.

*Назначение и принципы действия термоанемометров* постоянного тока, напряжения и сопротивления. Блок-схемы ТПС, ТПН и ТПТ. Свойства, преимущества и недостатки различных схем. Измерительные мосты термоанемометров. Коррекция частотной характеристики датчика. Линеаризация выходного сигнала.

*Интерпретация термоанемометрических измерений.* Метод трех перегревов. Диаграмма Коважного. Вихревая, энтропийная и акустическая моды. Частные случаи акустической моды при дозвуковых скоростях. Плоские звуковые волны. Точечный источник звука. Диаграммы пульсаций для распределенных по поверхности источников звука. Частный случай равномерно распределенных на плоскости источников.

*Моды пульсаций Коважного в сверхзвуковом потоке.* Частные случаи вихревой и энтропийной мод. Акустическая мода. Частные случаи для покоящихся и движущихся источников возмущений (дозвуковые и сверхзвуковые относительные скорости). Измерение характеристик пульсаций и разделение мод.

*Примеры применения методов термоанемометрии в высокоскоростных потоках.* Измерение фоновых пульсаций в трансзвуковых и сверхзвуковых аэродинамических трубах. Особенности измерения пульсаций в криогенных аэродинамических трубах. Измерение пульсаций потока в различных установках и авиационных двигателях.

## **Раздел 3. Оптические методы диагностики (10 часов).**

*Теневые методы визуализации.* Основные принципы, лежащие в основе теневых и интерференционных методов. Прямотеневой метод. Шлирен-метод. Теневой метод с адаптивным визуализирующим транспарантом. Растровый метод. BOS (Background-oriented schlieren). Влияние размеров источника света на качество прямотеневых изображений. О возможности использования интегральных методов для получения количественных данных.

*Метод лазерного ножа.* Принципы лежащие в основе визуализации потока. О возможности исследования параметров газового потока в выделенном сечении. Оптические схемы формирования лазерного ножа. Регистрация изображений. Требования к параметрам светорассеивающих частиц. Реализация методов на базе сверхзвуковой аэродинамической трубы Т-313 ИТПМ. Система ввода светорассеивающих частиц в поток и их влияние на параметры потока.

*Метод PIV-диагностики.* О панорамных измерениях скорости потоков. Основные принципы PIV-диагностики. Примеры реализации PIV-метода. PIV-диагностика в аэрофизическом эксперименте. Экспериментальное оборудование для PIV-диагностики потоков в аэродинамических трубах.

*Лазерный доплеровский анемометр.* Принципы лазерной анемометрии. Гетеродинные методы. Дифференциальная схема ЛДА. Измерительный объем. Практические схемы гетеродинных ЛДА. ЛДА на основе прямого спектрального анализа. Возможности и ограничения. Практические схемы ЛДА с прямым анализом. Особенности использования ЛДА в газодинамическом эксперименте. Панорамные ЛДА методы.

*Оптические методы измерения размеров частиц.* Дифракционный метод - метод малоуглового рассеяния. Фазовая доплеровская анемометрия. IPI (interferometric particle imaging). Основы методов. Приборная реализация. Возможности и ограничения.

*Высокоскоростная киносъемка быстротекущих процессов.* Методы и оборудование. Возможности и ограничения.

### Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к опросам по материалам лекций	18
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008. (5 экз)
2. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика М: Наука, 1976. (2 экз)
3. Прикладная аэродинамика : межвузовский научно-технический сборник / М-во гражд. авиации СССР ; [редкол.: А.М. Мхитарян (отв. ред.) и др.] Киев : Киев. ин-т инженеров гражд. авиации, 1976.

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Новосибирск: НГУ, 2009. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
2. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков: Учеб. пособие.– Новосибирск: Изд. НГТУ, 1997. – 81 с <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
3. Прикладная аэродинамика (под ред. Краснова) М: Изд-во Высшая школа, 1974. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
4. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэромеханические измерения. - М.: Наука, 1964. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
5. Поуп А., Гойн К. Аэродинамические трубы больших скоростей. – М.: Мир, 1968. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
6. Харитонов А.М. «Техника и методы аэрофизического эксперимента», Часть 1 «Аэродинамические трубы и газодинамические установки», Учебник НГТУ, Новосибирск, 2005, с.217. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

7. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Часть 2. Методы и средства аэрофизических измерений / Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007, 372 с. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
8. Advanced hypersonic test facilities// Progress in astronautics and aeronautics, Vol. 198. Edited by F.K. Lu and D.E. Marren. Published by AIAA, 2002, 639 p. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
9. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика. Москва: Машиностроение, 1972 г. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
10. Ключков В.П., Козлов Л.Ф., Потыкевич И.В., Соскин М.С. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. / Киев, Наукова думка, 1985. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
11. Жаркова Г.М., Корнилов В.М., Лебига В.А., Миронов С.Г., Павлов А.А. Методы и средства исследований течений в аэрогазодинамическом эксперименте. // Теплофизика и аэромеханика, т.4, №3, 1997, стр. 283-294. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
12. Бюшгенс Г.С., Бедржицкий Е.Л., Дмитриев В.Г. Центр авиационной науки. ЦАГИ, М. 2004, 392 с. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

**7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

**7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

**9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.



Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (Оптическое диагностическое оборудование на аэродинамических трубах Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, на установках ВСУ, УТ-4, газожидкостный стенд).

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекций и опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области экспериментальных методов исследования современных проблем аэрофизики.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

Таблица 10.1

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> принципы работы аэродинамических установок, основы диагностических методов, методы регистрации и обработки информации.	Опрос по материалам предыдущих лекций, экзамен

<p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Уметь</b> по поставленной задаче составить схему проведения эксперимента, выбрать соответствующую экспериментальную установку и методику измерения, оценить точность получаемого результата, продемонстрировать углубленные знания о современных аэрофизических установках и методах диагностики.</p> <p><b>Владеть</b> представлением о современных методах исследования в реальном аэрофизическом эксперименте.</p>	<p>Опрос по материалам предыдущих лекций, экзамен</p>
---	---	---

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики».

**Таблица 10.2**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Вопросы на экзамен

1. . Принципы экспериментального моделирования в аэродинамике. Классификация аэродинамических установок. Характеристики потока в рабочей части АТ. Уравнение 1-го закона термодинамики для потока. Уравнение обращенного воздействия. Сопло Лаваля. Конструкции сопел сверхзвуковых аэродинамических труб. «Аэродинамические установки»
  2. Теоретические основы измерения с помощью нагретых датчиков. Определяющие критерии подобия. Эмпирические законы теплообмена между нитью датчика и потоком. Закон Кинга. Влияние сжимаемости, температурного фактора. Прямое экспериментальное определение коэффициентов чувствительности датчика термоанемометра. Получение аналитических выражений для коэффициентов чувствительности датчиков «Термоанемометрия»
  3. Основные принципы, лежащие в основе теневых и интерференционных методов. Прямотеневой метод. Шлирен-метод. Теневой метод с адаптивным визуализирующим транспарантом. Растровый метод. BOS (Background-oriented schlieren). Влияние размеров источника света на качество прямотеневых изображений. О возможности использования интегральных методов для получения количественных данных «Оптические методы диагностики»
- 
1. Основные элементы конструкции АТ сверхзвуковых скоростей периодического действия с выхлопом в атмосферу, с выхлопом в вакуумную емкость, эжекторные трубы, трисоник АТ. Основные элементы конструкции АТ высоких скоростей потока непрерывного действия. Конструкция аэродинамической трубы сверх- и гиперзвуковых скоростей потока Т-313 ИТПМ СО РАН. «Аэродинамические установки».
  2. Назначение и принципы действия термоанемометров постоянного тока, напряжения и сопротивления. Блок-схемы ТПС, ТПН и ТПТ. Свойства, преимущества и недостатки различных схем. Измерительные мосты термоанемометров. Коррекция частотной характеристики датчика. Линеаризация выходного сигнала. «Термоанемометрия»
  3. Лазерный доплеровский анемометр. Принципы лазерной анемометрии. Гетеродинные методы. Дифференциальная схема ЛДА. Измерительный объем. Практические схемы гетеродинных ЛДА. ЛДА на основе прямого спектрального анализа. Возможности и ограничения. Практические схемы ЛДА с прямым анализом. Особенности использования ЛДА в газодинамическом эксперименте. Панорамные ЛДА методы. «Оптические методы диагностики»

#### Пример экзаменационного билета

1. Аэродинамические трубы сверхзвуковых скоростей. Основные элементы конструкции АТ сверхзвуковых скоростей периодического действия с выхлопом в атмосферу, с выхлопом в вакуумную емкость, эжекторные трубы, трисоник АТ. Основные элементы конструкции АТ высоких скоростей потока непрерывного действия. Конструкция аэродинамической трубы сверх- и гиперзвуковых скоростей потока Т-313 ИТПМ СО РАН.
2. Назначение и принципы действия термоанемометров постоянного тока, напряжения и сопротивления. Блок-схемы ТПС, ТПН и ТПТ. Свойства, преимущества и недостатки различных схем. Измерительные мосты термоанемометров. Коррекция частотной характеристики датчика. Линеаризация выходного сигнала.

3. Оптические методы измерения размеров частиц. Дифракционный метод - метод малоуглового рассеяния. Фазовая доплеровская анемометрия. ИИ (interferometric particle imaging). Основы методов. Приборная реализация. Возможности и ограничения.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Экспериментальные методы исследования  
современных проблем аэрофизики»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного