

**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**



ПРЕДТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ АЭРОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 2**

направление подготовки: **03.03.02 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
6	72	14	16		20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

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.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
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.	7
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.	8

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

Дисциплина "Методы аэрофизического эксперимента 2" представляет собой курс, знакомящий с представлением о современных методах и приборах для проведения аэродинамического эксперимента, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области аэрофизики и газовой динамики.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с 1) аэромеханическими измерениями в аэродинамических установках; 2) пневмометрическими измерениями; 3) термоанемометрическими способами измерения структуры потоков; 4) методами визуализации физической структуры течения 5) обработкой экспериментальных данных.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основные методы диагностики потока в аэрофизическом эксперименте.</p> <p>Уметь использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, выбрать метод измерения, оценить точность получаемого результата, продемонстрировать углубленные знания в области современной диагностики потоков.</p> <p>Владеть представлением о современных методах и приборах для проведения аэродинамического эксперимента, навыками использования методов диагностики потоков, обработкой экспериментальных данных.</p>

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными методами исследования в области механики жидкости и газа. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. 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 и т.д.) и спецкурсами, параллельно изучаемыми по данной специальности (Теоретическая аэрогидромеханика 1, 2, Проблемы аэрофизики).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Методы аэрофизического эксперимента 2» реализуется в весеннем семестре 3-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.), а также прохождения таких спецкурсов кафедры как «Методы аэрофизического эксперимента 1», «Теоретическая аэрогидромеханика 1», «Проблемы аэрофизики». Освоение дисциплины «Методы аэрофизического эксперимента 2» необходимо при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Трудоемкость 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
6	72	14	16		20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные 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, практические занятия, самостоятельная работа студента, самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опросы по темам лекций и практических занятий
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 14 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 20 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, экзамен) – 22 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, экзамен) составляет 34 часа.

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

Дисциплина «Методы аэрофизического эксперимента 2» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 6 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Методы измерений потока в аэрофизическом эксперименте, сбор и обработка экспериментальных данных	1-16	52	14	16	20	
2.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
3.	Консультации перед экзаменом		2				2
4.	Экзамен		2				2
Итого:			72	14	16	20	22

Программа и основное содержание лекций (14 часов)

Методы измерений потока в аэрофизическом эксперименте (10 часов)

1. Аэромеханические измерения в аэродинамических установках. Многокомпонентные механические весы (с примером задач, решаемых этим способом). Тензовесы. Источники погрешностей при измерении тензометрическими весами. Метод комбинированных измерений аэродинамических характеристик. Другие виды аэромеханических измерений. Принцип действия электромагнитных весов и их преимущества.
2. Пневмометрические измерения. Пневмометрические насадки. Методы измерения давления. Определение полного и статического давления в потоке. Схемы и основные соотношения размеров для измерения статических давлений на поверхности и для приёмников в потоке. Основные соотношения размеров и требования к измерениям полных давлений приёмниками Пито – Прандтля. Пневмометрические методы измерения скоростей и градуировка многоствольных пневмоприёмников. Основные принципы электрических преобразователей давления.
3. Лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС), принцип действия.

4. Термоанемометрические способы измерения структуры потоков. Термоанемометр с нагретой нитью (принцип действия, линеаризация, расшифровка показаний и разделение компонент скорости). Другие термоанемометрические способы регистрации. Особенности измерения термоанемометром при сверх- и гиперзвуковых скоростях.
5. Методы визуализации физической структуры течения. Метод визуализации поверхностных течений с помощью шелковинок. Исследования пограничного слоя и его устойчивости методом «водородных пузырьков». Метод «лазерного ножа» для изучения пространственных конфигураций. Метод электронного пучка для исследования гиперзвукового обтекания различных тел. Особенности методов визуализации, основанных на введении в поток твёрдых частиц. Принцип действия теневых методов визуализации газовых потоков. Другие методы (в том числе визуализация с использованием термоанемометрических данных и компьютерной техники).

Сбор и обработка экспериментальных данных (4 часа)

Цели и задачи автоматизации экспериментальных исследований Типовая схема системы автоматизации экспериментальных исследований. Измерительная система. Сигналы в измерительной системе Основные электронные компоненты измерительной системы. Подключение экспериментального оборудования к ЭВМ. Магистрально-модульные системы сбора данных. Система КАМАК. Хранение экспериментальных данных в ЭВМ. Архивы и базы данных. Система графического программирования LabView. Обработка экспериментальных данных. Автоматизированная обработка результатов измерений. Использование системы MATLAB для обработки данных Анализ данных в реальном масштабе времени. Программируемый эксперимент.

Программа практических занятий (16 часов)

- Занятие 1.* Общее знакомство с основами термоанемометрии.
Занятие 2. Использование персональных компьютеров для накопления и обработки сигналов с термоанемометра
Занятие 3. Определение основных характеристик в сверхзвуковой аэродинамической трубе
Занятие 4. Оптические методы исследований течений
Занятие 5. Панорамная визуализация поверхностных полей температур методом жидкокристаллической термографии
Занятие 6. Знакомство с вычислительным комплексом, для распараллеливания сложных, многомерных задач аэрогидродинамики
Занятие 7. Измерение поля плотности гиперзвукового потока электронным пучком
Занятие 8. Анализ электрических сигналов (аналоговая обработка). Обработка фотографических данных

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	10
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	10
Подготовка к экзамену	18

5 Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Грек Г.Р., Козлов В.В., Литвиненко Ю.А., Устойчивость дозвуковых струйных течений и горение. // *Учебное пособие: Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2013. 239 стр. с дополнительным материалом в электронном виде, включающем презентации и видеоролики на CD-диске (423 мБ). ISBN 978-5-4437-0062-5.*
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.

5.2. Дополнительная литература

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.
2. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика М: Наука, 1976.
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.
4. 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.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Физические механизмы перехода к турбулентности в открытых течениях. Москва: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2006. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
3. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. М.: Мир, 1974. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
4. Васильев А.А. Теневые методы. М.: Наука, 1968. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
5. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков: Учеб. пособие.– Новосибирск: Изд. НГТУ, 1997. – 81 с <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. 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/>
9. Горлин С.М., Слизенгер И.И. Аэромеханические измерения. Методы и приборы. М.: Наука, 1964 <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
10. Мартынов А.К. Экспериментальная аэродинамика. М.: Оборонгиз, 1958 <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 «Методы аэрофизического эксперимента 2» используются специальные помещения:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: компьютером, видеопроектором. Для проведения лекций используются видео-презентации.

2. Действующие аэродинамические трубы ИТПМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, модели летательных аппаратов и их элементов;

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 опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции и практическим занятиям.

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 аэрофизики и газовой динамики, той ее части, касающейся методов диагностики потоков.

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

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные методы диагностики потока в аэрофизическом эксперименте.	Проведение опроса, экзамен.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, выбрать метод измерения, оценить точность получаемого результата, продемонстрировать углубленные знания в области современной диагностики потоков.	Проведение опроса, экзамен.
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	Владеть представлением о современных методах и приборах для проведения аэродинамического эксперимента, навыками использования методов диагностики потоков, обработкой экспериментальных данных.	Проведение опроса, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Методы аэрофизического эксперимента 2».

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 1.3	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. Основные элементы механических весов и их назначения.
2. Аэродинамические весы тензометрического типа. Преимущества и принципы устройства.
3. Источники погрешностей при измерении тензометрическими весами.
4. Метод комбинированных измерений аэродинамических характеристик.
5. Принцип действия электромагнитных весов и их преимущества.
6. Определение полного и статического давления в потоке.
7. Схемы и основные соотношения размеров для измерения статических давлений на поверхности и для приёмников в потоке.
8. Основные соотношения размеров и требования к измерениям полных давлений приёмниками Пито – Прандтля.
9. Пневмометрические методы измерения скоростей и градуировка многоствольных пневмоприёмников.

10. Основные принципы электрических преобразователей давления.
11. Лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС), принцип действия.
12. Измерения средних и мгновенных скоростей с помощью термоанемометра.
13. Градуировка термоанемометрических зондов
14. Тепловые потери нити при сверхзвуковых скоростях.
15. Электроискровой метод измерения скорости.
16. Метод визуализации поверхностных течений с помощью шелковинок.
17. Особенности методов визуализации, основанных на введении в поток твёрдых частиц.
18. Принцип действия теневых методов визуализации газовых потоков.
19. Принцип действия интерферометрического метода визуализации газовых потоков.
20. Методы визуализации поверхностных течений. Дымовые спектры, саже-масленные спектры поверхностных течений.
21. Методы визуализации вихревых течений. Лазерный нож, стробоскопия. Принцип действия.
22. Голографические методы. Принцип действия.
23. Цели и задачи автоматизации экспериментальных исследований
24. Типовая схема системы автоматизации экспериментальных исследований
25. Измерительная система. Сигналы в измерительной системе
26. Основные электронные компоненты измерительной системы
27. Подключение экспериментального оборудования к ЭВМ
28. Магистрально-модульные системы сбора данных. Система КАМАК
29. Системы сбора данных быстро протекающих процессов
30. Хранение экспериментальных данных в ЭВМ. Архивы и базы данных.
31. Программное обеспечение систем автоматизации
32. Система графического программирования LabView
33. Использование системы MATLAB для обработки данных

Пример экзаменационного билета

1. Методы визуализации вихревых течений. Лазерный нож, стробоскопия. Принцип действия.
2. Измерения средних и мгновенных скоростей с помощью термоанемометра.
3. Принцип действия электромагнитных весов и их преимущества.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p><i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><i>Физический факультет</i></p>
--

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____

1.
2.
3.

Составитель _____ /Козлов В.В./
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

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 «Методы аэрофизического эксперимента 2»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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