

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Кафедра аэрофизики и газовой динамики

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
член-корр. РАН _____ А. Е. Бондарь
«_____» _____ 2018 г.

Экспериментальные методы исследования
современных проблем аэрофизики
Рабочая программа дисциплины

Физический факультет

Направление подготовки
03.04.02 Физика (уровень магистратуры)
Курс 2, семестр 3

Профиль:
Физическая механика жидкости и газа

Форма обучения
Очная

Новосибирск 2018

Учебно-методический комплекс «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» предназначен для магистрантов физического факультета НГУ, разработан в 2014 году в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки **03.04.02 Физика (уровень магистратуры)** и приведен в соответствие в 2018 согласно требованиям Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 05.04.2017г. и решению УС ФФ (протокол № 167 от 21.03.2018). В состав комплекса включены: рабочая программа дисциплины «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики», банк обучающих материалов, банк контролирующих материалов, фонд оценочных средств.

Составили:

профессор, д.ф.м.н. Бойко В.М., профессор, д.т.н., Лебига В.А., профессор, д.т.н. Запрягаев В.И.

Учебно-методический комплекс одобрен на заседании кафедры аэрофизики и газовой динамики физического факультета НГУ **31 августа 2018 года.**

Разработчики:

профессор
д.ф.-м.н.

Бойко В.М.

профессор
д.ф.-м.н.

Лебига В.А.

профессор
д.ф.-м.н.

Запрягаев В.И.

Заведующий кафедрой аэрофизики и газовой динамики
д.ф.-м.н., академик РАН

Фомин В.М.

Зам. декана ФФ НГУ по учебной работе,
д.ф.-м.н.

Цыбуля С.В.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Кафедра аэрофизики и газовой динамики

УТВЕРЖДАЮ
 Декан ФФ
 член-корр. РАН _____ А. Е. Бондарь
 «_____» _____ 2018 г.

Экспериментальные методы исследования
современных проблем аэрофизики

Рабочая программа дисциплины

Физический факультет

Направление подготовки
03.04.02 Физика (уровень магистратуры)
Курс 2, семестр 3

Профиль:
Физическая механика жидкости и газа

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	72	30				20	18	2			2
Всего 72 часа /2 зачетные единицы из них: - контактная работа 34 часа											
Компетенции ПК-1, ПК-2											

Новосибирск 2018

Рабочая программа «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики», предназначенная для магистрантов физического факультета НГУ, разработана в 2014 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки **03.04.02 Физика (уровень магистратуры)** и приведена в соответствие в 2018 согласно требованиям Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 05.04.2017г. и решению УС ФФ (протокол № 167 от 21.03.2018).

Место дисциплины в структуре учебного плана
Б.1 «Вариативная часть».

Составили:

профессор, д.ф.м.н. Бойко В.М., профессор, д.т.н., Лебига В.А., профессор, д.т.н. Запрягаев В.И.

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры аэрофизики и газовой динамики физического факультета НГУ **31 августа 2018 года**.

Разработчики:

профессор
д.ф.-м.н.

Бойко В.М.

профессор
д.ф.-м.н.

Лебига В.А.

профессор
д.ф.-м.н.

Запрягаев В.И.

Заведующий кафедрой аэрофизики и газовой динамики
д.ф.-м.н., академик РАН

Фомин В.М.

Зам. декана ФФ НГУ по учебной работе,
д.ф.-м.н.

Цыбуля С.В.

Содержание

Аннотация	6
1. Цели освоения дисциплины.....	7
2. Место дисциплины в структуре ООП.....	7
3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоении дисциплины.....	7
4. Структура и содержание дисциплины.....	8
5. Образовательные технологии.....	10
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.....	10
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания.....	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	12
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	12

Аннотация

Программа курса «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» составлена в соответствии с требованиями к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки магистра по направлению **03.04.02 Физика (уровень магистратуры)**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Дисциплина изучается магистрантами физического факультета.

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 прежде всего нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (ПК-1);

- способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, самостоятельная работа студента, контрольная работа, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Промежуточный контроль: устный экзамен.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа (из них 34 контактных: предусмотрены 30 часов лекционных, 22 часа - консультации, подготовка к экзамену и экзамен, а также 20 часов самостоятельной работы, не включая период сессии).

1. Цели освоения дисциплины

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.

2. Место дисциплины в структуре магистерской программы

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики» обеспечивает знание методов подготовки и проведения современного аэрофизического эксперимента. Входными знаниями, умением и готовностью является курсы лекций КОФ: «Физика и химия атомов и молекул», «Электромагнетизм и оптика», «Введение в технику физ.экспериментов», практикумы КОФ :«Практикум по физической оптике», «Атомный практикум», курс лекций КАГД "Физические основы и методы оптической диагностики аэрофизического эксперимента". Данный курс необходим для магистров и аспирантов 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 при работе на экспериментальных аэрофизических установках.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина прежде всего нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-1- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области современного аэрофизического эксперимента и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта;

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для грамотного применения современных методов исследования в реальном аэрофизическом эксперименте.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- ПК1.1 - знать принципы работы аэродинамических установок, основы диагностических методов, методы регистрации и обработки информации.
- ПК2.2 – уметь 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.
- ПК2.3 – владеть представлением о современных методах исследования в реальном аэрофизическом эксперименте.

4. Структура и содержание дисциплины

«Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Семинары	Лаб. занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Аэродинамические установки	1-5	16	10			6	
	Термоанемометрия	6-10	16	10			6	
	Оптические методы диагностики	11-15	18	10			8	
	Самостоятельная подготовка к экзамену	16	18					18
	Групповая консультация	17	2					2
	Экзамен	17	2					2
	Всего		72	30			20	22

Часть 1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки.

1. *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.
2. *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.
3. *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 Лавала. Конструкции сопел сверхзвуковых аэродинамических труб.
4. *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.

5. *Аэродинамические трубы гиперзвуковых скоростей и высокоэнтульпийные 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.

Часть 2. Термоанемометрия.

6. *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..
7. *Назначение и принципы действия термоанемометров* постоянного тока, напряжения и сопротивления. Блок-схемы ТПС, ТПН и ТПП. Свойства, преимущества и недостатки различных схем. Измерительные мосты термоанемометров. Коррекция частотной характеристики датчика. Линеаризация выходного сигнала.
8. *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.
9. *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.
10. *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.

Часть 3. Оптические методы диагностики.

11. *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.
12. *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.
13. *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.
14. *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. Практиче-

ские схемы ЛДА с прямым анализом. Особенности использования ЛДА в газодинамическом эксперименте. Панорамные ЛДА методы.

15. *Оптические методы измерения размеров частиц*. Дифракционный метод - метод малоуглового рассеяния. Фазовая доплеровская анемометрия. IPI (interferometric particle imaging). Основы методов. Приборная реализация. Возможности и ограничения.
16. *Высокоскоростная киносъемка быстротекущих процессов*. Методы и оборудование. Возможности и ограничения.

5. Образовательные технологии

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа обучающихся состоит в изучении методического материала:

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2008.
2. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Новосибирск: НГУ, 2009.
3. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков: Учеб. пособие.– Новосибирск: Изд. НГТУ, 1997. – 81 с
4. Лебига В.А. Вопросы измерения характеристик турбулентности сжимаемых течений // Методы и техника аэрофизических исследований. Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР. 1978. С. 44-56.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Оценочным средством контроля теоретических знаний является итоговый экзамен. Для получения оценки «отлично» нужно ответить на оба вопроса в билете. Для оценки «хорошо» достаточно ответить на один вопрос и 50% второго. Для получения оценки «удовлетворительно» требуется выполнить полностью хотя бы на один вопрос билета и дополнительные вопросы.

Освоение компетенций оценивается в части способности самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, способности использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий и способности свободно владеть фундаментальными разделами физики.

Формы контроля

Итоговый контроль. Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен.

Текущий контроль. Осуществляется контроль посещения лекций. Часть времени на лекциях отводится обсуждению со студентами практических задач

Фонд оценочных средств – Приложение 1.

Перечень контрольных заданий и иных материалов, необходимых для оценки знаний, умений, навыков и освоения компетенций обучающимися, используемых в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Экспериментальные методы исследования современных проблем аэрофизики»

Образцы вопросов для подготовки к экзамену

1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки. Необходимость использования АТ при проведении аэрофизических исследованиях. Принципы экспериментального моделиро-

- вания в аэродинамике. Классификация аэродинамических установок. Характеристики потока в рабочей части АТ.
2. 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.
 3. 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 Лаваля. Конструкции сопел сверхзвуковых аэродинамических труб.
 4. 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.
 5. Аэродинамические трубы гиперзвуковых скоростей и высокоэнтальпийные 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.
 6. 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.
 7. Получение аналитических выражений для коэффициентов чувствительности датчиков..
 8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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.

12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Оптические методы измерения размеров частиц. Дифракционный метод - метод малоуглового рассеяния. Фазовая доплеровская анемометрия. IPI (interferometric particle imaging). Основы методов. Приборная реализация. Возможности и ограничения.
16. Высокоскоростная киносъемка быстропротекающих процессов. Методы и оборудование. Возможности и ограничения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2008.
2. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Новосибирск: НГУ, 2009.
3. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков: Учеб. пособие.– Новосибирск: Изд. НГТУ, 1997. – 81 с
4. Харитонов А.М. «Техника и методы аэрофизического эксперимента», Часть 1 «Аэродинамические трубы и газодинамические установки», Учебник НГТУ, Новосибирск, 2005, с.217.
5. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Часть 2. Методы и средства аэрофизических измерений / Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007, 372 с.

б) дополнительная литература:

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика М: Наука, 1969.
2. 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.
3. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэромеханические измерения. - М.: Наука, 1964.
4. Поуп А., Гойн К. Аэродинамические трубы больших скоростей. – М.: Мир, 1968.
5. 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.
6. Бюшгенс Г.С., Бедржицкий Е.Л., Дмитриев В.Г. Центр авиационной науки. ЦАГИ, М. 2004, 392 с.

8.1. Программное обеспечение для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Таблица 8.2

№	Наименование ПО	Назначение	Место размещения
---	-----------------	------------	------------------

1	Jaws for Windows	Программа экранного доступа к системным и офисным приложениям, включая интернет-обозреватели. Информация с экрана считывается вслух, обеспечивая возможность речевого доступа к самому разнообразному контенту. Jaws также позволяет выводить информацию на обновляемый дисплей Брайля. JAWS включает большой набор клавиатурных команд, позволяющих воспроизвести действия, которые обычно выполняются только при помощи мыши.	Ресурсный центр, читальные залы библиотеки НГУ, компьютерные классы (сетевые лицензии)
2	Duxbury Braille Translator v11.3 для Брайлевского принтера	Программа перевода текста в текст Брайля, и печати на Брайлевском принтере	Ресурсный центр
3	"MAGic Pro 13" (увеличение+речь)	Программа для людей со слабым зрением и для незрячих людей. Программа позволяет увеличить изображение на экране до 36 крат, есть функция речевого сопровождения	Ресурсный центр, читальные залы библиотеки НГУ

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1. Компьютеры, видеопроекторы.

9.2. 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.

9.3. Плакаты.

9.4. Видео-презентации.

Оборудование, обеспечивающее адаптацию электронных и печатных образовательных ресурсов для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья

Таблица 9.1

№	Наименование оборудования	Назначение	Место размещения
1.	Принтер Брайля	Печать рельефно-точечным шрифтом Брайля	Ресурсный центр
2.	Увеличитель Prodigy Duo Tablet 24	Устройство для чтения и увеличения плоскочечного текста	Ресурсный центр, читальные залы библиотеки НГУ
3.	Специализированное мобильное рабочее место «ЭлНот 311»	Мобильный компьютер с дисплеем брайля	Ресурсный центр
4.	Портативный тактильный дисплей Брайля "Focus 40 Blue"	Навигация в операционных системах, программах и интернете с помощью отображения рельефно-точечным шрифтом Брайля получаемой информации	Ресурсный центр, читальные залы библиотеки НГУ
5.	Устройство для печати тактильной графики «PIAF»	Печать тактильных графических изображений	Ресурсный центр
6.	Портативный видеоувеличитель RUBY XL HD	Увеличение текста и подбор контрастных схем изображения	Ресурсный центр
7.	Складной настольный	Увеличение текста и подбор кон-	Ресурсный центр

	электронный видео-увеличитель «ТОPAZ PHD 15»	трастных схем изображения	
8.	Электронный ручной видео-увеличитель ONYX Deskset HD 22”	Увеличение текста и подбор контрастных схем изображения	Ресурсный центр
9.	Смартфон EISmart G3	Смартфон клавишным управлением и озвученным интерфейсом, обучение спутниковой навигации.	Ресурсный центр
10.	FM-система «Сонет-PCM» PM-3-1	Звуковая FM-система для людей с нарушением слуха, улучшающая восприятие голосовой информации	Большая физическая аудитория главного корпуса НГУ

II. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, выполнению курсовых проектов и лабораторных работ

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Новосибирск: НГУ, 2009.
2. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков: Учеб. пособие.– Новосибирск: Изд. НГТУ, 1997. – 81 с
3. Прикладная аэродинамика (под ред. Краснова) М: Изд-во Высшая школа, 1974.
4. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэромеханические измерения. - М.: Наука, 1964.
5. Поуп А., Гойн К. Аэродинамические трубы больших скоростей. – М.: Мир, 1968.
6. Харитонов А.М. «Техника и методы аэрофизического эксперимента», Часть 1 «Аэродинамические трубы и газодинамические установки», Учебник НГТУ, Новосибирск, 2005, с.217.
7. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Часть 2. Методы и средства аэрофизических измерений / Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007, 372 с.
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.
9. Бюшгенс Г.С., Бедржицкий Е.Л., Дмитриев В.Г. Центр авиационной науки. ЦАГИ, М. 2004, 392 с.
10. Мартынов А.К. Прикладная аэродинамика. Москва: Машиностроение, 1972 г.
11. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика М: Наука, 1969.
12. Клочков В.П., Козлов Л.Ф., Потыкевич И.В., Соскин М.С. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. / Киев, Наукова думка, 1985.

III. Банк контролирующих материалов

Образцы вопросов для подготовки к экзамену

1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки. Необходимость использования АТ при проведении аэрофизических исследованиях. Принципы экспериментального моделирования в аэродинамике. Классификация аэродинамических установок. Характеристики потока в рабочей части АТ. Аэродинамические трубы. Параметры моделирования. Требования к характеристикам потока. Метрологические характеристики АТ
2. 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.
3. 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.
4. 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.
 5. Аэродинамические трубы гиперзвуковых скоростей и высокоэнтальпийные установки. Основные типы труб гиперзвукового диапазона скоростей (периодического действия, импульсные АТ, трубы Людвиг, 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.
 6. 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.
 7. Получение аналитических выражений для коэффициентов чувствительности датчиков..
 8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. Метод PIV-диагностики. О панорамных измерениях скорости потоков. Основные принципы PIV-диагностики. Примеры реализации PIV-метода. PIV-диагностика в аэрофизиче-

ском эксперименте. Экспериментальное оборудование для PIV–диагностики потоков в аэродинамических трубах.

14. 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.
15. Оптические методы измерения размеров частиц. Дифракционный метод - метод малоуглового рассеяния. Фазовая доплеровская анемометрия. ИРІ (interferometric particle imaging). Основы методов. Приборная реализация. Возможности и ограничения.
16. Высокоскоростная киносъемка быстропротекающих процессов. Методы и оборудование. Возможности и ограничения.