

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

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Аэроакустика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра теоретической и прикладной аэрогидромеханики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.Ф. Копьев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и прикладной аэрогидромеханики 04.06.2020

Аннотация

Данный курс содержит совокупность естественнонаучных представлений о физических явлениях генерации и распространения звука в аэродинамических потоках, возникающих как в природных условиях, так и при работе технических устройств различного назначения. Определяющая роль движения газовой среды в явлениях рассматриваемого типа условно отличает их от явлений, относящихся к более общему классу «Акустика». Курс включает в себя представления об основных принципах и методологии математического описания акустических явлений в потоках газа, а также об особенностях различных типов волновых решений в зависимости от аэродинамических характеристик потока и конфигурации областей распространения звука.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами аэроакустики, дисциплины, лежащей на стыке классической акустики и аэродинамики, а также смежных дисциплин, обеспечивающих полноценное научное сопровождение экспериментального и теоретического определения источников шума современного ЛА, разработки новых методов его снижения, проектирования и испытаний звукопоглощающих конструкций. Курс содержит как теоретические основы аэроакустики, так и сведения о методах и средствах экспериментальных исследований.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов базовых знаний в области аэроакустики;
- приобретение теоретических знаний в области описания и моделирования источников шума;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области аэроакустики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры

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;
- современные проблемы физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов шумообразования в турбулентных течениях;
- разновидности современных способов экспериментального исследования шума турбулентных течений и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- выводить основные уравнения аэроакустики и понимать их физический смысл;
- пользоваться аппаратом функций Грина, методом Винера-Хопфа и методом сращиваемых асимптотических разложений в простейших задачах;
- 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;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач аэроакустики.

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	Введение. Вывод основных уравнений.	2	2		3
2	Излучение и рассеяние звука.	2	2		3
3	Распространение звука в потенциальном неоднородном потоке.	2	2		3
4	Различные подходы в теории шума турбулентного потока.	2	2		3
5	Две концепции крупномасштабной турбулентности в сдвиговом потоке.	2	2		3
6	Задача аэродинамической генерации звука вихрями при малых числах Маха как проблема сингулярных возмущений.	2	2		3
7	Представления об излучении звука трехмерным вихрем.	2	2		3
8	Экспериментальное исследование шума вихревого кольца.	2	2		3
9	Дифракция звука на полуплоскости.	2	2		3
10	Шум сверхзвукового потока и волны неустойчивости.	3	3		3
11	Экспериментальное исследование шума сверхзвуковой струи.	3	3		5
12	Излучение звука движущимися поверхностями.	3	3		5
13	Представление о трех модах движения.	3	3		5

Итого часов	30	30		45
Подготовка к экзамену	30 час.			
Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

1. Введение. Вывод основных уравнений.

Вывод основных уравнений идеального газа. Основные представления акустики. Волновое уравнение, граничные условия, функция Грина. Энергия и поток энергии в акустике. Мультипольное разложение.

2. Излучение и рассеяние звука.

Простейшие излучатели: пульсирующая сфера, колеблющаяся сфера. Возможность независимого определения источника при вычислении звукового поля. Представление об акустической аналогии. Источники звука вблизи поверхностей. Отражение мультипольных источников в криволинейной поверхности. Движущиеся источники звука. Эффект Доплера.

3. Распространение звука в потенциальном неоднородном потоке.

Уравнение Блохинцева. Теорема взаимности в произвольном потенциальном потоке газа.

4. Различные подходы в теории шума турбулентного потока.

Акустическая аналогия Лайтхилла. Обобщение уравнения Блохинцева на случай неизоэнтропийных непотенциальных сред: уравнение Блохинцева-Хоу. Акустические аналогии Пауэлла-Хоу, Обермейера-Меринга. Сравнение различных представлений источника в акустических аналогиях.

5. Две концепции крупномасштабной турбулентности в сдвиговом потоке.

Две концепции крупномасштабной турбулентности в сдвиговом потоке: отдельные вихри и волны неустойчивости. Эффект Власова-Гиневского для дозвуковых струй. Три компоненты шума сверхзвуковой струи – шум смешения, шум взаимодействия со скачками, тональный шум (screech).

6. Задача аэродинамической генерации звука вихрями при малых числах Маха как проблема сингулярных возмущений.

Теория Кроу. Квадрупольный и октупольный члены излучения. Различие основных представлений источника при вычислении октупольного звука. Сравнение существующих акустических аналогий и анализ их точности.

7. Представления об излучении звука трехмерным вихрем.

Колебания вихревого кольца, представление о сдвиговой неустойчивости осциллятора в непотенциальном потоке.

8. Экспериментальное исследование шума вихревого кольца.

Азимутальная декомпозиция звукового поля. Метод азимутальной декомпозиции и метод бимформинга. Азимутальная декомпозиция шума дозвуковой струи.

9. Дифракция звука на полуплоскости.

Метод Винера-Хопфа. Дифракция звука на полуплоскости при наличии обтекающего потока: кромка крыла и кромка сопла.

10. Шум сверхзвукового потока и волны неустойчивости.

Разложение звукового поля по малому параметру, характеризующему медленность изменения среднего течения. Теория Тама-Морриса.

11. Экспериментальное исследование шума сверхзвуковой струи.

Азимутальная декомпозиция шума сверхзвуковой струи. Диагностика начальных амплитуд волн неустойчивости.

12. Излучение звука движущимися поверхностями.

Геликоидальная система координат. Шум винта и теория Хансона. Шум нагрузки и шум вытеснения. Теория Фокса Вильямса – Хоукинга.

13. Представление о трех модах движения.

Взаимодействие вихревой, энтропийной и акустической мод вблизи границы тела. Распространение звука в цилиндрическом канале. Механизм затухания звука Константинова.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Применение метода Винера-Хопфа для решения дифференциальных уравнений в частных производных [Текст] / Б. Нобл ; пер. с англ. Л. Н. Брюхатова ; под ред. В. И. Левина - М.Изд-во иностр. лит.,1962

Дополнительная литература

1. Введение в методы возмущений [Текст]/А. Найфэ , -М., Мир, 1984

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

Не используются

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

На практических занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий курс «Аэроакустика», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики; порядки численных величин, характерные для различных разделов физики; современные проблемы физики, математики;

современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов шумообразования в турбулентных течениях; разновидности современных способов экспериментального исследования шума турбулентных течений и физические принципы, на которых они основаны.

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 экзамену.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра теоретической и прикладной аэрогидромеханики
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.Ф. Копьев, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аэроакустика» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов шумообразования в турбулентных течениях;
- разновидности современных способов экспериментального исследования шума турбулентных течений и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- выводить основные уравнения аэроакустики и понимать их физический смысл;
- пользоваться аппаратом функций Грина, методом Винера-Хопфа и методом сращиваемых асимптотических разложений в простейших задачах;
- 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;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач аэроакустики.

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

1. Эффект Власова-Гиневского для дозвуковых струй.
2. Три компоненты шума сверхзвуковой струи – шум смешения, шум взаимодействия со скачками, тональный шум (screech).

3. Излучение звука простейшим вихрем. Обратное влияние излучения на поток, акустическая неустойчивость.
4. Интенсификация излучения вихря за счет накачки звукообразующих пульсаций случайным вихревым полем вблизи ядра
5. Задача аэродинамической генерации звука вихрями при малых числах Маха как проблема сингулярных возмущений. Теория Кроу. Квадрупольный и октупольный члены излучения. Различие основных представлений источника при вычислении октупольного звука. Сравнение существующих акустических аналогий и анализ их точности.
6. Представления об излучении звука трехмерным вихрем. Колебания вихревого кольца, представление о сдвиговой неустойчивости осциллятора в непотенциальном потоке.
7. Экспериментальное исследование шума вихревого кольца. Азимутальная декомпозиция звукового поля. Метод азимутальной декомпозиции и метод бимформинга.
8. Азимутальная декомпозиция шума дозвуковой струи.
9. Дифракция звука на полуплоскости. Метод Винера-Хопфа.
10. Дифракция звука на полуплоскости при наличии обтекающего потока: кромка крыла и кромка сопла.
11. Шум сверхзвукового потока и волны неустойчивости. Разложение звукового поля по малому параметру, характеризующему медленность изменения среднего течения. Теория Тама-Морриса.
12. Экспериментальное исследование шума сверхзвуковой струи. Азимутальная декомпозиция шума сверхзвуковой струи. Диагностика начальных амплитуд волн неустойчивости.
13. Излучение звука движущимися поверхностями. Геликоидальная система координат. Шум винта и теория Хансона. Шум нагрузки и шум вытеснения.
14. Теория Фокса Вильямса – Хоукинга.
15. Представление о трех модах движения. Взаимодействие вихревой, энтропийной и акустической мод вблизи границы тела.
16. Распространение звука в цилиндрическом канале. Механизм затухания звука Константинова.

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

1. Вывод основных уравнений идеального газа. Основные представления акустики. Волновое уравнение, граничные условия, функция Грина.
2. Энергия и поток энергии в акустике.
3. Мультипольное разложение.
4. Простейшие излучатели: пульсирующая сфера, колеблющаяся сфера.
5. Возможность независимого определения источника при вычислении звукового поля.
6. Представление об акустической аналогии.
7. Источники звука вблизи поверхностей. Отражение мультипольных источников в криволинейной поверхности.
8. Движущиеся источники звука. Эффект Доплера.
9. Распространение звука в потенциальном неоднородном потоке. Уравнение Блохинцева.
10. Теорема взаимности в произвольном потенциальном потоке газа.
11. Акустическая аналогия Лайтхилла.
12. Обобщение уравнения Блохинцева на случай неизоэнтропийных непотенциальных сред: уравнение Блохинцева-Хоу.
13. Акустические аналогии Пауэлла-Хоу, Обермейера-Меринга.
14. Сравнение различных представлений источника в акустических аналогиях.
15. Две концепции крупномасштабной турбулентности в сдвиговом потоке: отдельные вихри и волны неустойчивости.

Билет 1

Уравнения Эйлера, линеаризация, вывод волнового уравнения, скорость звука. Волновое уравнение при наличии в среде объемных источников массы и силы.

Билет 2

Определить амплитуду колебаний скорости в акустической волне интенсивностью 120дБ при нормальных условиях.

Билет 3

Получить выражение для звукового давления в дальнем поле, создаваемого системой 2 х вихрей, расположенных на расстоянии друг от друга. Интенсивности вихрей равны.

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 экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.