

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра вычислительной и экспериментальной механики

Авторы-составители: **Синер Александр Александрович**

Рабочая программа дисциплины

АЭРОАКУСТИКА

Код УМК 95995

Утверждено
Протокол №6
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Аэроакустика

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.04.03** Механика и математическое моделирование
направленность Фундаментальная и прикладная механика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Аэроакустика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность : Фундаментальная и прикладная механика)

ОПК.1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики

Индикаторы

ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области

ОПК.1.2 Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Фундаментальная и прикладная механика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	5
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	12
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Письменное контрольное мероприятие (7)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (5 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

1. Основы аэроакустики

В разделе рассматриваются основные математические модели, используемые в аэроакустике

1.1. Проблемы и задачи аэроакустики

При рассмотрении данной темы следует сформировать у студентов понимание актуальности проблем, рассматриваемых изучаемой дисциплиной.

Следует разобрать основные причины и механизмы звукообразования – колебание твердых тел, нестационарные течения с образованием вихрей, развитую турбулентность.

Следует рассмотреть основные эффекты, связанные со звуковыми колебаниями: акустическую кавитацию, акустическую коагуляцию, акустокапиллярный эффект, акустическое эмульгирование, акустическую эмиссию, акустический флаттер и т.д. Привести примеры промышленного использования данных явлений.

Отдельно стоит рассмотреть проблему снижения шумности гражданских самолетов и их газотурбинных двигателей, т.к. именно эта отрасль промышленности обладает наибольшей заинтересованностью в развитии современных моделей образования и распространения звуковых колебаний и способов их подавления. Необходимо отметить мировую тенденцию к регулярному ужесточению требований по уровню шумности гражданских самолетов, которые находят своё отражение в нормах ИКАО. Следует познакомить с историей развития данного международного института и его роли в современном мире. Оценить вклад основных узлов самолета можно путем рассмотрения типичных диаграмм распределения шумности, построенных для режимов взлета и посадки. Следует разобрать основные источники и механизмы звукообразования планера современного гражданского самолета: элементов оперения, шасси, механизации крыла. Следует также разобрать основные источники и механизмы звукообразования в газотурбинных двигателях и их основных узлах, основной акцент сделать на 2 основных момента: нестационарное статор-ротор взаимодействие и шум реактивной струи. Необходимо обозначить основные тенденции мировых производителей авиационных газотурбинных двигателей и самолетов в развитии методов снижения шумности своих изделий.

1.2. Волновое уравнение и плоская звуковая волна

В ходе изучения данной темы студент должен ознакомиться с основным уравнением акустики (волновым уравнением). Следует особо акцентировать внимание на основных допущениях, используемых при выводе волнового уравнения, границах применимости построенной модели. Следует выписать решение волнового уравнения в случае плоской звуковой волны и дать его физическую интерпретацию. Необходимо указать на важную особенность звуковых колебаний - конечную скорость распространения (скорость звука). Подробно стоит также рассмотреть основные характеристики плоской звуковой волны: частоту, длину волны, волновое число, связь колебаний давления с колебаниями плотности, а также связь колебаний давления с колебанием скорости частиц. Стоит выделить основную акустическую характеристику среды – акустический импеданс. Следует указать, что все звуковые волны являются продольными.

1.3. Энергия звуковой волны

Следует указать на так называемые «электромеханические аналогии» - сходство основных соотношений акустики и электростатики, в частности, импеданса среды с сопротивлением проводника. Стоит познакомить студента с основной единицей измерения силы звука - децибелами, привести логарифмическую шкалу силы звука.

Стоит рассмотреть случай наложения встречных волн и обозначить появление вследствие их взаимодействия особых точек в физическом пространстве - пучностей и узлов, дать их характеристики. Следует сделать акцент на том, что сила звука характеризует перенос энергии бегущей волной (стоячая волна обладает нулевой силой звука), а плотность звуковой энергии отражает наличие звуковых

колебаний вообще.

1.4. Эффект Доплера

В ходе изучения данной темы студент должен в ходе практического занятия самостоятельно вывести формулу для вычисления частоты звуковой волны, которая регистрируется приемником, в случае движения приемника и источника звука относительно неподвижной среды с постоянными скоростями. Описание данного практического занятия, а также примерные тексты задач приведены в соответствующей части настоящего УМК.

Стоит особо обратить внимание на тот факт, что регистрируемая частота зависит не от величины скорости сближения или отдаления источника и приемника звука, но непосредственно от значений скоростей движения источника и приемника относительно среды.

Следует обозначить исключительную роль эффекта Доплера, на использовании которого основаны все современные методы определения скорости движения объектов путем гидролокации.

1.5. Сферическая звуковая волна

В ходе изучения данной темы разбирается одно из частных решений основного уравнения акустики - сферическая звуковая волна. Следует показать сходство данного решения со случаем плоской звуковой волны и его основные отличия: затухание амплитуды колебаний при удалении от центра сферической волны, наличие разности фаз в колебаниях давления и скорости.

Следует познакомить студента с понятиями дальнего и ближнего поля (волновой и неволновой зон) и разобрать их основные характеристики и особенности. Также следует показать наличие в каждой точке среды активной (совершающей работу) и реактивной (не совершающей работу) мощностей звуковой волны.

В ходе изучения данной темы студент должен в ходе практического занятия самостоятельно вывести радиус пульсирующей сферы, генерирующей заданное сферическое звуковое поле, объемную скорость (производительность) и полный импеданс данного монополя (включая активную и реактивную составляющие), определить параметры монополя, обеспечивающие наиболее эффективное излучение звука. Описание данного практического занятия, а также тексты задач приведены в соответствующей части настоящего УМК.

1.6. Звуковое поле диполя

В ходе изучения данной темы находится одно из частных решений основного уравнения акустики в случае двух близкорасположенных точечных источника с противоположными интенсивностями (диполь). Следует показать сходство данного решения со случаем плоской и сферической звуковых волн и его основные отличия. Стоит обратить внимание студента на наличие замкнутых траекторий в поле диполя, попросить объяснить кажущееся противоречие с предположением о реализации безвихревого течения. Следует познакомить студента с характеристикой направленности диполя и методами ее определения для реальных излучателей, продемонстрировать возможность конструирования излучателей с заранее заданными свойствами на основе элементарных (монополя и диполя).

В ходе изучения данной темы студент должен в ходе практического занятия самостоятельно вывести характеристики осциллирующей сферы, генерирующей заданное дипольное звуковое поле, определить значения параметров, обеспечивающих наиболее эффективное излучение звука, сравнить эффективность излучения с поршнем и пульсирующей сферой. Описание данного практического занятия, а также тексты задач приведены в соответствующей части настоящего УМК.

1.7. Отражение и прохождение звука через границы различных сред

В ходе изучения данной темы студент должен изучить основные закономерности отражения и прохождения звуковых волн через границы различных сред.

Рассматриваются случаи нормального падения звуковой волны и падения под углом к поверхности раздела двух сред, представляющей собой:

- 1) свободную поверхность среды
- 2) абсолютно жесткую стенку
- 3) поверхность препятствия типа сосредоточенная масса
- 4) поверхность препятствия типа сосредоточенная упругость

Вводятся понятия падающей, отраженной и прошедшей волн. Приводятся формулы Френеля для расчетов коэффициентов отражения, прохождения и преломления. Вводится понятие импеданса препятствия и его проводимости, формулируется закон сохранения энергии при взаимодействии звуковой волны с препятствием произвольного типа.

Приводится методика расчета звукового поля в ограниченных пространствах при помощи принципа мнимых изображений, сводящего задачу к определению звукового поля в неограниченной среде.

1.8. Рассеивание звука

В данной теме рассматривается явление рассеивания звука при его взаимодействии с телами конечных размеров. Даются понятия первичной и вторичной волн, монопольного и дипольного типов рассеивания, площади рассеивания, удельной площади рассеивания, присоединенной массы. Следует сделать акцент на различиях в эффективности рассеивания волн различной длины одним и тем же препятствием, а также закрепленным и незакрепленным объектом.

Рассматриваются случаи:

малого препятствия, отличающегося от среды только сжимаемостью,

малого препятствия, отличающегося от среды только плотностью, пузырьком газа в жидкости, резонатором Гельмгольца, в слабо неоднородной среде, слабо шероховатой поверхностью.

1.9. Поглощение звука

В данной теме рассматривается явление поглощения звука в различных средах. Следует разобрать различные механизмы поглощения: вязкие и термические, привести формулы расчета коэффициентов поглощения при действии каждого из обозначенных механизмов, обратить внимание на зависимость интенсивности поглощения от частоты волны.

Следует обратить внимание на различный ход затухания при отражении (степенной закон) и поглощении (экспоненциальный закон). Следует указать на практическое применение эффекта поглощения звука средой (в медицине). Следует указать, в каких ситуациях учет затухания необходим, а в каких им возможно пренебречь.

Использование индикаторных диаграмм.

1.10. Распространение звука в трубе малого диаметра

В ходе изучения данной темы студент должен изучить основные закономерности распространения звуковых волн по трубам малого диаметра – основным компонентам всех звукопроводов.

Следует обратить внимание на затухание амплитуды колебаний под действием сил вязкости, которую необходимо учитывать при расчете распространения звука по узким трубам.

Следует сделать акцент на том, что скорость распространения звука в трубах всегда меньше скорости звука рассматриваемой среды. Стоит отметить, что в случае упругих стенок трубы, скорость распространения звука ниже, чем для трубы с абсолютно жесткими стенками, существует конечная скорость распространения звуковых колебаний даже для несжимаемой среды. Следует познакомить студента с формулой по расчету коэффициента упругости стенок через материальные константы материала, из которого они изготовлены. Стоит обратить внимание на наличие дисперсии в общем случае движения по трубам, ознакомить студента с понятием групповой скорости, привести формулу для ее вычисления в рассматриваемом случае.

1.11. Основные подходы к моделированию шума реальных источников

В ходе изучения данной темы студент должен получить представление об аналитических и численных методах расчета шума от реальных источников.

Следует сделать акцент на основные особенности акустических задач: чрезвычайно малые амплитуды колебаний параметров газа и практически неограниченный объем распространения звука, которые не позволяют применить классические методы газовой динамики для расчета подобного рода задач, что приводит к развитию собственных методов расчета в аэроакустике.

Необходимо на примере задачи о расчете шума газотурбинного двигателя ознакомить студента с общепринятой практикой деления задачи на этап: расчет течения газа вблизи источника звука (например, лопатки компрессора), расчет распространения звука в ближней зоне (по тракту двигателя), расчет характеристик дальнего поля. Стоит подробно разобрать основные особенности моделирования течений на каждом из этапов.

При рассмотрении методов вычислительной аэроакустики следует познакомить студента с общими идеями постановки неотражающих граничных условий, принципов замены реальных источников идеальными (монополями, диполями, квадрупольями), применения специальных схем повышенной точности с малой диссипацией и дисперсией (DRP, LDDRK методы и т.п.). Стоит указать методики аналитического расчета характеристик дальнего поля при помощи интегралов Кирхгофа и Фокс Вильямса-Хоукинга.

Следует обратить внимание на проблему постановки граничных условий для задач аэроакустики.

2. Вычислительная аэроакустика

Данный раздел содержит информацию о численных методах, применяемых для решения задач аэроакустики

2.1. Постановка задач аэроакустики. Основные методы и подходы.

Особенности постановки задач аэроакустики. Математические модели для описания акустических процессов. Линеаризованные уравнения Эйлера. Нестационарные уравнения Навье-Стокса. Граничные условия в задачах аэроакустики. Понятие акустического импеданса.

2.2. Методы расчета звуковых полей в каналах турбомашин с податливыми стенками

Численные схемы повышенного порядка точности для решения уравнений Эйлера и Навье-Стокса. Схема DRP для вычисления пространственных производных. Явные, низко-диссипативные, низкодисперсионные схемы Рунге-Кутты по времени. Устойчивость вычислительных схем для решения задач аэроакустики, неявные разностные схемы высокого порядка точности. Численная реализация граничных условий. Неотражающие граничные условия. Импедансные граничные условия. Методы расчета акустических характеристик звукопоглощающих конструкций.

2.3. Постановка и численное решение промышленных задач аэроакустики

Численные подходы для выбора наилучших звукопоглощающих конструкций.

Постановка и численное решение обратных задач акустики турбомашин.

Применение современных методов распараллеливания для решения сложных технических задач с помощью методов вычислительной аэроакустики

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Самарский А. А. Введение в численные методы: учебное пособие для вузов / А. А. Самарский. - Санкт-Петербург: Лань, 2005, ISBN 5-8114-0602-9. - 288. - Библиогр.: с. 281
2. Блохинцев Д. И. Избранные труды. в 2 т. Т. 1. Оптика. Физика твердого тела. Акустика. Ядерная энергетика. Воспоминания / Д. И. Блохинцев. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009, ISBN 978-5-9221-1188-1. - 576. - Библиогр.: с. 540-575
3. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. — Москва : Логос, 2013. — 432 с. — ISBN 978-5-98704-659-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/9080>
4. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы: учебное пособие / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - Москва: Лаборатория Базовых Знаний, 2000, ISBN 5-93208-043-4. - 624.
5. Паршаков, А. Н. Физика в ключевых задачах. Механика. Колебания. Акустика : учебное пособие / А. Н. Паршаков. — Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2013. — 239 с. — ISBN 978-5-91559-133-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/103531>
6. Акустика: Справочник / А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; Ред. М. А. Сапожков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: "Радио и связь", 1989, ISBN 5-256-00187-6. - 336. - Библиогр.: с. 333-335

Дополнительная:

1. Вычислительная математика. Часть 1 : учебное пособие / В. Н. Варапаев, Ю. В. Осипов, Г. Л. Сафина, Н. Н. Рогачева. — Москва : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 88 с. — ISBN 978-5-7264-1455-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/60773.html>
2. Блатов, И. А. Вычислительная математика : учебное пособие / И. А. Блатов, О. В. Старожилова. — Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. — 205 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/75371.html>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

https://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/lekcii/lekmexpdf/lekmex_30.pdf Лекции по акустике

http://vmede.org/sait/?id=Medbiofizika_fedorov_2008&menu=Medbiofizika_fedorov_2008&page=5

Лекции по акустике

<https://www.youtube.com/watch?v=KuCrdgP2xq8&t=16s> Лекция по акустике

<https://www.youtube.com/watch?v=ccmIMf2sNSI> Лекции по акустике

https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/modern_methods/Term11_Lec10_noise.pdf Лекции Гарбарука А.В.

https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/modern_methods/Term11_Lec10_noise.pdf Лекции Гарбарука А.В.

https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/modern_methods/Term11_Lec10_noise.pdf Лекции Гарбарука А.В.

https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/modern_methods/Term11_Lec10_noise.pdf Лекции Гарбарука А.В.

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

Образовательный процесс по дисциплине **Аэроакустика** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Лекционные материалы для курса представляют собой презентации в формате Microsoft PowerPoint.

Лекционные материалы могут быть представлены студентам в виде очной презентации с использованием мультимедиа-проектора или в виде презентаций представляемых через любую систему для дистанционных занятий: Discord, Skype, BBB и др. Практические занятия представляют собой примеры задач для программного комплекса ANSYS Fluent. Для решения задач используются программы для удаленного графического доступа на сервер, такие как X2Go, VNC Viewer, а также программы для удаленного управления сервером через командную строку, программы для копирования файлов на удаленный компьютер: Putty, WinSCP.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения занятий необходим компьютерный класс, оборудованный мультимедиа-проектором и компьютерами с операционной системой Windows 7, 10 или Linux Centos, Ubuntu Linux или аналогичный.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Аэроакустика**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.1

Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области</p>	<p>В результате освоения дисциплины студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> -знать терминологию, все основные физические характеристики, используемые в аэроакустике, и их физический смысл; -знать основные уравнения, граничные условия и численные методы, используемые для их решения; -знать механизмы генерации шума потоком; -уметь решать задачи аэроакустики с использованием современных методов расчета и математических моделей; -владеть математическим аппаратом, используемым в аэроакустике для построения акустически оптимизированных численных схем; -владеть методами решения практических задач. 	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не может записать даже волновое уравнение, его решение и пояснить особенности его применения на практике</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Студент знает только волновое уравнения, может применить его для решения простых задач</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Студент знает основные уравнения аэроакустики, умеет их применить для решения простых модельных задач</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Студент знает все уравнения аэроакустики, умеет их применить для решения реальных практических задач</p>
<p>ОПК.1.2 Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат</p>	<p>В результате освоения дисциплины студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> - знать методы обработки результатов нестационарных газодинамических расчетов, позволяющие выявить особенности генерации звука течением; -уметь правильно поставить задачу, выбрать необходимые уравнения и граничные условия по известной физической 	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>не умеет правильно поставить задачу, выбрать необходимые уравнения и граничные условия по известной физической постановке задачи</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>умеет правильно поставить задачу, выбрать необходимые уравнения и граничные условия для простых задач, для сложных задач может совершать ошибки</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>умеет правильно поставить задачу, выбрать</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>постановке задачи; -уметь правильно анализировать результаты расчетов с точки зрения аэроакустики, уметь строить спектральные характеристики по известным сигналам от времени; -владеть современными методами анализа, используемыми в аэроакустике.</p>	<p>Хорошо необходимые уравнения и граничные условия по известной физической постановке задачи, демонстрирует свои способности для модельных задач</p> <p>Отлично умеет правильно поставить задачу, выбрать необходимые уравнения и граничные условия по известной физической постановке задачи, демонстрирует свои способности для реальных технических задач</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.2. Волновое уравнение и плоская звуковая волна Письменное контрольное мероприятие	Знание основных уравнений акустики
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.4. Эффект Доплера Письменное контрольное мероприятие	Знание эффекта Доплера и расчетных формул для оценки энергии звуковой волны
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.6. Звуковое поле диполя Письменное контрольное мероприятие	Знание основных модельных источников звука: монополя и диполя, умение решать с их помощью задачи
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.7. Отражение и прохождение звука через границы различных сред Письменное контрольное мероприятие	Знание теории отражения и прохождения звука через границу двух сред, умение решать задачи по данной теме
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.9. Поглощение звука Письменное контрольное мероприятие	Знание теории поглощения и рассеивания звука
ОПК.1.1 Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	1.11. Основные подходы к моделированию шума реальных источников Письменное контрольное мероприятие	Знание основных механизмов генерации звука потоком, теории распространения звука по каналам

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.1.2 Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат	2.3. Постановка и численное решение промышленных задач аэроакустики Письменное контрольное мероприятие	Знание численных схем аэроакустики, умение правильно ставить задачи аэроакустики

Спецификация мероприятий текущего контроля

1.2. Волновое уравнение и плоская звуковая волна

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Студент знает все основные уравнения и может их записать	10
Студент знает уравнения, но допускает небольшие ошибки в их написании	9
Студент может записать основные уравнения акустики, но объяснение их физического смысла вызывает у него затруднение	7
Студент знает наименование основных уравнений и их физический смысл, но не может точно их записать	5

1.4. Эффект Доплера

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Студент знает все расчетные формулы для эффекта Доплера и расчета энергии звуковой волны, может их применить для решения практических задач	10
Студент знает основные расчетные формулы для эффекта Доплера и расчета энергии звуковой волны, может их применить для решения простых модельных задач	8
Студент знает основные расчетные формулы для эффекта Доплера и расчета энергии звуковой волны, но применение их на практике вызывает некоторые трудности	6
Студент не знает основные расчетные формулы для эффекта Доплера и расчета энергии звуковой волны, не может их применить для решения задач	4

1.6. Звуковое поле диполя

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Студент знает все расчетные формулы для монополя и диполя, умеет рассчитать распространение сферической звуковой волны для решения практических задач	10
Студент знает основные расчетные формулы для монополя и диполя, умеет рассчитать распространение сферической звуковой волны для решения простых модельных задач	8
Студент знает несколько основных расчетных формул для монополя и диполя, их использование вызывает у него определенные трудности	6
Студент не знает расчетные формулы для монополя и диполя	4

1.7. Отражение и прохождение звука через границы различных сред

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Студент знает все формулы и определения по теме отражения и прохождения звука через границу сред, может применить их для решения реальных практических задач	10
Студент знает основные формулы и определения по теме отражения и прохождения звука через границу сред, может применить их для решения простых модельных задач	8
Студент знает только самые простые формулы и определения по теме отражения и прохождения звука через границу сред, не может применить их для решения задач	6
Студент не знает формулы и определения по теме отражения и прохождения звука через границу сред, не может применить их для решения задач	4

1.9. Поглощение звука

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Студент отлично знает теорию рассеивания и поглощения звука. Может записать все расчетные формулы, знает все определения и законы.	20
Студент хорошо знает теорию рассеивания и поглощения звука. Может записать основные расчетные формулы, определения и законы. Некоторые формулы и определения вызывают затруднения.	16
Студент знает только основные положения теории рассеивания и поглощения звука. Может записать основные формулы, но не может объяснить их физический смысл.	12
Студент не знает теорию рассеивания и поглощения звука. Не может записать ни одного уравнения и большую часть определений.	8

1.11. Основные подходы к моделированию шума реальных источников

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Студент отлично знает основные источники шума в реальных практических задачах, может объяснить как поток генерирует шум во всех подробностях, владеет теорией расчета распространения звука в канале, может применить знания для решения реальных практических задач	20
Студент хорошо разбирается в механизмах генерации звука в источниках, может в общих чертах объяснить их физическую природу, владеет теорией расчета распространения звука в канале. Все указанные знания может применить для решения ограниченного круга задач с простой постановкой	16
Студент знает механизмы генерации шума в источниках в общих чертах, может записать основные уравнения, но не может в полном объеме применить теоретические знания на практике	12
Студент не знает механизмы генерации звука в источнике и теорию расчета распространения звука в канале малого диаметра	8

2.3. Постановка и численное решение промышленных задач аэроакустики

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.3 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Студент отлично знает постановки задач, численные методы аэроакустики и может их применить для решения реальных практических задач.	20
Студент хорошо знает постановки задач, численные методы аэроакустики и может их применить для решения простых модельных задач	16
Студент знает основные уравнения и граничные условия, знает в общих чертах, как строятся численные методы аэроакустики, но не может их применить для решения реальных практических задач	12
Студент не знает постановки задач аэроакустики и численные методы, используемые для их решения	8