

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Инженерный институт



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Е.А. Турилова

17 февраля 2023 г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Теория термоакустических колебаний газа

Направление подготовки: 16.04.01 - Техническая физика

Профиль подготовки: Физика плазмы, теплотехника и водородная энергетика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. (доцент) Иовлева О.В. (кафедра технической физики и энергетики, Инженерный институт), Olga.Beloded@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
ОПК-2	способность демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики
ПК-1	способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основы физических процессов, приводящих к возбуждению термоакустических колебаний газа; уравнения термоакустики и методы их решения.

Должен уметь:

применять методы термоакустики к решению практических задач; выполнять расчеты параметров автоколебаний газа в типовых резонаторах; использовать современные образовательные и информационные технологии для приобретения новых знаний в области теории и практики горения.

Должен владеть:

математическим аппаратом теории термоакустических колебаний газа; навыками проведения расчетов параметров термоакустических колебаний газа с заданными параметрами.

Должен демонстрировать способность и готовность:

Проводить теоретическое исследование условий возбуждения акустических колебаний газа в системах с тепловыми источниками; Выполнять физико-технические расчеты параметров автоколебаний газов в промышленных энергетических установках.

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 16.04.01 "Техническая физика (Физика плазмы, теплотехника и водородная энергетика)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений. Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 54 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 36 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 36 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 18 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 семестре.

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

##### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение.	1	4	0	4	0	0	0	5
2.	Тема 2. Продольные колебания газа в системах с продольным градиентом температуры	1	4	0	6	0	0	0	5
3.	Тема 3. Теоретические модели термоакустических колебаний газа	1	2	0	6	0	0	0	5
4.	Тема 4. Теория явления Рийке	1	2	0	6	0	0	0	5
5.	Тема 5. Возбуждение звука в неравномерно нагретом резонаторе Гельмгольца	1	2	0	6	0	0	0	5
6.	Тема 6. Расчет Эффекта Зондхаусса	1	2	0	4	0	0	0	5
7.	Тема 7. Термоакустические колебания газа в канале с переменным тепловым сопротивлением	1	2	0	4	0	0	0	6
	Итого		18	0	36	0	0	0	36

##### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

###### Тема 1. Введение.

Примеры самовозбуждения звука в системах с тепловыми источниками: поющее пламя, труба Рийке, эффект Зондхаусса, резонатор Гельмгольца

Приведены результаты исследований автоколебаний газа, возникающих в установках с горением. На основе энергетического метода разработана обобщенная теоретическая модель, позволяющая с единых позиций рассматривать самовозбуждение продольных акустических колебаний газа в типовых устройствах. Предложена методика расчета границ неустойчивости, частот и амплитуд установившихся колебаний. Полученные результаты подтверждаются экспериментальными данными и могут служить основой для проектирования устройств вибрационного горения полезного назначения и разработки мер по устранению колебаний в камерах сгорания напряженных энергетических установок.

###### Тема 2. Продольные колебания газа в системах с продольным градиентом температуры

Расчет колебаний газа в трубе с продольным градиентом температуры. Влияние находящихся в потоке препятствий на частоту колебаний. Установка типа емкость-труба, резонатор Гельмгольца. Продольные колебания газа в системах в отсутствие градиента температуры .

Процесс самовозбуждения акустических колебаний газа, когда ему сообщается теплота, выделяемая при горении или путем теплопередачи от нагретых тел, известен с работ Хиггинса, Рэлея, Рийке, Зондхаусса. В литературе это явление называют также вибрационным, или пульсационным горением, неустойчивостью горения, термическим возбуждением звука, термоакустическими колебаниями. При исследовании термоакустических колебаний обычно считается, что поток газа состоит из двух частей - холодной и горячей, разделенных плоскостью, в которой происходит скачок температуры, а ее распределение по оси канала имеет ступенчатый характер. В достаточно длинных камерах сгорания, а также при наличии охлаждающих устройств, температуры газа в зоне горения и на выходе из установки значительно отличаются. Появляется продольный градиент скорости звука, учет которого, а также присутствия в потоке плохообтекаемых тел - стабилизаторов пламени, вносит существенные изменения в постановку задач исследования термоакустических колебаний. В настоящее время не разработана методика, которая сравнительно просто позволила бы, во-первых, проводить расчеты границ неустойчивости, частот и амплитуд автоколебаний газа в конкретных типовых установках с тепловыми источниками и, во-вторых, построить обобщенную теоретическую модель термоакустических колебаний. Есть основания полагать, что энергетический подход даст возможность решить эти задачи.

### Тема 3. Теоретические модели термоакустических колебаний газа

Критерий Рэлея Идеализация процессов в области теплоподвода. Акустическая мощность тепловых источников, условия самовозбуждения колебаний. Критерий Рэлея. Решение задач.

азличают прямой и обратный термоакустический эффект. Прямой термоакустический эффект впервые был сформулирован Лордом Рэлеем: "Если газу в момент наибольшего сжатия сообщить тепло, а в момент наибольшего разрежения тепло отобрать, то это стимулирует акустические колебания". Таким образом, прямой термоакустический эффект описывает условия преобразования тепловой энергии в акустическую. Вывод критерия Рэлея.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

1. Идеализация процессов в области теплоподвода 2. Акустическая мощность области теплоподвода, условия самовозбуждения колебаний 3. Характеристическое уравнение задачи исследования границ неустойчивости 4. Комбинированный метод расчета условий самовозбуждения, частоты и амплитуды установившихся колебаний практическое занятие (6 часа(ов)):

1. Идеализация процессов в области теплоподвода 2. Акустическая мощность области теплоподвода, условия самовозбуждения колебаний 3. Характеристическое уравнение задачи исследования границ неустойчивости 4. Комбинированный метод расчета условий самовозбуждения, частоты и амплитуды установившихся колебаний

### Тема 4. Теория явления Рийке

Основные характеристики. Описание закономерности областей возбуждения колебаний с помощью эффекта Рийке. Сравнение теоретических и экспериментальных данных. Решение задач.

Интересным случаем термических автоколебаний является эффект Рийке, т.е. генерация звука в открытой с обоих концов трубе, в которой находится внутренний источник тепла, при наличии потока газа через нагреватель. Характерной особенностью эффекта является замкнутость областей возбуждения колебаний, т.е. прекращение колебаний при достаточно больших и достаточно малых скоростях потока. Наиболее удачную теорию эффекта Рийке предложил Раушенбах. Но он воспользовался решением Лайтхилла задачи о теплообмене одиночной проволоки в бесконечном пространстве при наложенных звуковых колебаниях. Использование этих результатов для случая сетки, которая служит источником тепла в трубе, как указывал сам Раушенбах, может дать только качественное представление о явлении. К тому же указанные результаты не позволяют построить замкнутые области возбуждения колебаний, то есть не объясняют прекращение колебаний при малых скоростях потока. Оценка показывает, что объяснение нижних пределов пульсации температуры нагревателя возможно лишь при нагревательных элементах небольшого размера. Предлагаемая теория эффекта Рийке хорошо описывает закономерности областей возбуждения колебаний.

### Тема 5. Возбуждение звука в неравномерно нагретом резонаторе Гельмгольца

Определение резонатора Гельмгольца. Теоретическое объяснение данного вида колебаний, предложенное Теодорчиком. Расчет автоколебаний в резонаторе Гельмгольца энергетическим методом. Сравнение с экспериментальными данными.

Цель:

Повысить точность определения характеристики поглощения звука резонатором Гельмгольца аналитическими методами.

Поглощение звука резонатором Гельмгольца в канале

\*Рассмотреть характеристики поглощения торцевого резонатора

Гельмгольца;

\*Экспериментально исследовать зависимость коэффициента поглощения от диаметра горла резонатора, длины его горла и

глубины полости;

Задачи:

\*Сравнить результаты эксперимента с линейной аналитической моделью резонатора Гельмгольца;

\*Предложить коррекцию для обеспечения соответствия теории и практики.

### **Тема 6. Расчет Эффекта Зондхаусса**

Вывод соотношений, определяющих условия возбуждения, частоту и амплитуду установившихся колебаний газа. Расчет параметров колебаний газа и сравнение с экспериментальными данными.

Начнем рассмотрение конкретных моделей Термических автоколебаний с эффекта Зондхаусса. Это явление получило название по имени открывшего его исследователя и состоит в возбуждении звука в трубе, к которой снаружи или изнутри подводится тепло при отсутствии потока через полость трубы.

### **Тема 7. Термоакустические колебания газа в канале с переменным тепловым сопротивлением**

Понятие теплового сопротивления. Физический механизм возбуждения колебаний газа в трубе. Критерий термоакустической неустойчивости. Решение задач.

Рассмотрены аналитическое описание феномена Рийке, явления "поющего" пламени Хиггинса и вибрационное горение. Обосновано, что теплоподвод образует на напорной характеристике соответствующего устройства или камеры горения восходящую ветвь, которая является причиной возбуждения термоакустических автоколебаний. Образование восходящей ветви на напорной характеристике теплоподвода осуществляется действием механизмов неустойчивости, вытекающих из условия положительности акустической энергии потока. При вибрационном горении такие колебания имеют диаметрально противоположные свойства колебаниям, возникающим из-за запаздывания сгорания топлива, предложенного Л. Крокко. Установлено, что с повышением волнового сопротивления устройства, амплитуда рассматриваемых термоакустических автоколебаний уменьшается, а амплитуда автоколебаний возбуждающихся механизмом запаздывания сгорания - возрастает. Исходя из того, что под разрежением амплитуда релаксационных колебаний, обусловленных запаздыванием, уменьшается, предложена камера горения, включающая такие колебания.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

Колебания и волны. Физика. Наука. Электронные учебники. - [libedu.ru?nauka/fizika/kolebani\\_ja\\_i\\_volny/](http://libedu.ru?nauka/fizika/kolebani_ja_i_volny/)

Линейные колебания и волны - [sgu.ru?files/nodes/62639/oscwave.pdf](http://sgu.ru?files/nodes/62639/oscwave.pdf)

Теория термоакустических колебаний газа - <http://bars.kfu-elearning.ru/course/category.php?id=656>

Теория термоакустических колебаний газа - [http://kpfu.ru/main?p\\_id=20434&p\\_lang=&p\\_type=3](http://kpfu.ru/main?p_id=20434&p_lang=&p_type=3)

Электронный мультимедийный учебник по разделу физики "Колебания и Волны" - [koi.tspu.ru?waves/](http://koi.tspu.ru?waves/)

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры. Студентам необходимо: -перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины, что позволит сэкономить время на записывание темы лекции, ее основных вопросов, рекомендуемой литературы; -на отдельные лекции приносить соответствующий материал на бумажных носителях, представленный лектором на портале или присланный на ?электронный почтовый ящик группы? (таблицы, графики, схемы). Данный материал будет охарактеризован, прокомментирован, дополнен непосредственно на лекции; -перед очередной лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться я в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях. Не оставляйте ?белых пятен? в освоении материала.

Вид работ	Методические рекомендации
практические занятия	<p>Студентам следует: -приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию; -до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия; -при подготовке к практическим занятиям следует обязательно использовать не только лекции, учебную литературу, но и нормативно -правовые акты и материалы правоприменительной практики; -теоретический материал следует соотносить с правовыми нормами, так как в них могут быть внесены изменения, дополнения, которые не всегда отражены в учебной литературе; -в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения; -в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; -на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю. Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2- недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изучавшейся на занятии. Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу зачетной сессии, упускают возможность получить положенные баллы за работу в соответствующем семестре.</p>
самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов включает в себя выполнение различного рода заданий, которые ориентированы на более глубокое усвоение материала изучаемой дисциплины. По каждой теме учебной дисциплины студентам предлагается перечень заданий для самостоятельной работы. К выполнению заданий для самостоятельной работы предъявляются следующие требования: задания должны выполняться самостоятельно и представляться в установленный срок, а также соответствовать установленным требованиям по оформлению. Студентам следует: -руководствоваться графиком самостоятельной работы, определенным РПД; -выполнять все плановые задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельного выполнения, и разбирать на семинарах и консультациях неясные вопросы;</p>
экзамен	<p>Наиболее ответственным этапом в обучении студентов является экзаменационная сессия. На ней студенты отчитываются о выполнении учебной программы, об уровне и объеме полученных знаний. Залогом успешной сдачи зачетов, экзаменов являются систематические занятия в течение семестра. Однако необходима и специальная работа в период сессии. Задачи студента в период экзаменационной сессии - это повторение, обобщение и систематизация изученного материала. Начинать повторение рекомендуется за месяц-полтора до начала сессии. Сначала следует внимательно посмотреть программу, установить наиболее трудные, наименее усвоенные разделы. Повторение рекомендуется вести по темам программы и по главам учебника. В процессе повторения анализируются и систематизируются все знания, накопленные при изучении программного материала: данные учебника, записи лекций, конспекты прочитанных книг, заметки, сделанные во время консультаций, результаты практических и лабораторных занятий. Установите четкий ритм работы и режим дня. Разумно чередуйте труд и отдых, питание, нормальный сон и пребывание на свежем воздухе.</p>

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

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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



Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 16.04.01 "Техническая физика" и магистерской программе "Физика плазмы, теплотехника и водородная энергетика".

*Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.01.01 Теория термоакустических колебаний газа*

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 16.04.01 - Техническая физика

Профиль подготовки: Физика плазмы, теплотехника и водородная энергетика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

**Основная литература:**

1. Барилевич В.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Барилевич В.А., Смирнов Ю.А. - Москва: ООО 'Научно-издательский центр ИНФРА-М', 2014 - 432с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=356818>
2. Епифанов В.С. Термодинамика [Электронный ресурс]: 1 / Епифанов В.С., Степанов А.М. - Москва: Альтаир МГАВТ, 2015 - 88с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=522648>
3. Филин В.М. Гидравлика, пневматика и термодинамика [Электронный ресурс]: Курс лекций: 1 / Филин В.М. - Москва: ООО 'Научно-издательский центр ИНФРА-М', 2018 - 318с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=957143>

**Дополнительная литература:**

1. Кузнецов С. И. Физика: Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика. Термодинамика [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Кузнецов С. И.: 4 - Москва: ООО 'Научно-издательский центр ИНФРА-М', 2014 - 248с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=412940>
2. Барилевич В.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Барилевич В.А., Смирнов Ю.А. - Москва: ООО 'Научно-издательский центр ИНФРА-М', 2014 - 432с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=356818>

*Приложение 3*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.В.ДВ.01.01 Теория термоакустических колебаний газа*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 16.04.01 - Техническая физика

Профиль подготовки: Физика плазмы, теплотехника и водородная энергетика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.