

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Устойчивость процессов горения в энергетических установках М2.ДВ.2

Направление подготовки: 223200.68 - Техническая физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Ларионов В.М.

**Рецензент(ы):**

Зарипов Р.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой:

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (доцент) Ларионов В.М. Кафедра технической физики и энергетики Отделение физики, Victor.Larionov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

понимание процессов, приводящих к акустической неустойчивости процесса горения; формирование знаний и навыков, относительно физических механизмов возбуждения колебаний газа и методами оценки устойчивости процессов горения в промышленных энергетических установках.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.ДВ.2 Профессиональный" основной образовательной программы 223200.68 Техническая физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина М2.ДВ2 "Устойчивость процессов горения в энергетических установках" входит в профессиональный цикл подготовки магистров по направлению 223200 "Техническая физика" и является обязательной для изучения студентами профиля "Теплофизика".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способность разрабатывать и оптимизировать современные наукоемкие технологии в различных областях технической физики с учетом экономических и экологических требований
ПК-11 (профессиональные компетенции)	способность разрабатывать, проводить наладку и испытания и эксплуатировать наукоемкое технологическое и аналитическое оборудование
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и те, которые находятся на передовом рубеже технической физики
ПК-21 (профессиональные компетенции)	готовность и способность применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способность демонстрировать навыки работы в научном коллективе, готовность генерировать, оценивать и использовать новые идеи (креативность), способность находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.
ОК-4 (общекультурные компетенции)	способность использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, в управлении коллективом, готовность оценивать качество результатов деятельности.
ОК-5 (общекультурные компетенции)	способность проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности.

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной и инновационной деятельности, конференциях, выставках и презентациях.

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основы общей теории устойчивости;  
физические механизмы, приводящие к акустической неустойчивости процессов горения;  
научно апробированные способы обеспечения устойчивости процесса горения в промышленных камерах сгорания.

2. должен уметь:

определять причины возбуждения колебаний газа в установках с горением;  
оценивать вероятность появления акустической неустойчивости в модернизируемых и проектируемых камерах сгорания;  
моделировать и планировать эксперименты по исследованию пульсационного горения.

3. должен владеть:

аппаратом общей теории устойчивости;  
энергетическим подходом к оценке вероятности появления акустической неустойчивости горения;  
методами, позволяющими устранять колебания газа в промышленных камерах сгорания.

определять причины возбуждения колебаний газа в установках с горением;  
оценивать вероятность появления акустической неустойчивости в модернизируемых и проектируемых камерах сгорания;  
моделировать и планировать эксперименты по исследованию пульсационного горения.

основы общей теории устойчивости;  
физические механизмы, приводящие к акустической неустойчивости процессов горения;  
научно апробированные способы обеспечения устойчивости процесса горения в промышленных камерах сгорания.

аппаратом общей теории устойчивости;  
энергетическим подходом к оценке вероятности появления акустической неустойчивости горения;  
методами, позволяющими устранять колебания газа в промышленных камерах сгорания.

установить причины неустойчивости процессов горения в энергетических установках;  
смоделировать и составить программу экспериментального исследования процессов горения;

наметить пути по устранению или стимуляции колебаний в зависимости от необходимости.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Общая характеристика неустойчивости горения.	3	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Применение пульсирующего горения на практике.	3	2	0	2	0	
3.	Тема 3. Основы общей теории устойчивости	3	3	2	0	0	
4.	Тема 4. Критерии устойчивости.	3	4	0	2	0	
5.	Тема 5. Решение задач по общей теории устойчивости.	3	5-7	0	6	0	коллоквиум
6.	Тема 6. Физические основы автоколебаний в энергетических установках.	3	8	4	0	0	коллоквиум
7.	Тема 7. Механизмы обратной связи автоколебаний.	3	9	0	2	0	
8.	Тема 8. Энергетический подход в неустойчивости горения.	3	10	2	0	0	коллоквиум
9.	Тема 9. Решение задач на основе энергетического подхода.	3	11-13	0	6	0	коллоквиум

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
10.	Тема 10. Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в камерах сгорания промышленных энергетических установок.	3	14-15	4	0	0	
11.	Тема 11. Автоколебания газа при горении в трубе.	3	16	0	2	0	
12.	Тема 12. Пульсационное горение в камерах сгорания реактивных двигателей.	3	17	0	2	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			14	22	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Общая характеристика неустойчивости горения.

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Введение. Общая характеристика явления акустической неустойчивости процесса горения. Исторический обзор. Проблема возбуждения колебаний газа в камерах сгорания ракетных и авиационных двигателей.

##### Тема 2. Применение пульсирующего горения на практике.

###### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Применение пульсационного режима горения на практике. Интенсификация процессов горения и теплообмена. Утилизация промышленных и бытовых отходов.

##### Тема 3. Основы общей теории устойчивости

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Основы общей теории устойчивости, понятия и определения. D-разбиение по одному параметру

##### Тема 4. Критерии устойчивости.

###### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Критерии устойчивости. D-разбиение по двум параметрам.

##### Тема 5. Решение задач по общей теории устойчивости.

###### *практическое занятие (6 часа(ов)):*

Решение задач по общей теории устойчивости.

##### Тема 6. Физические основы автоколебаний в энергетических установках.

###### *лекционное занятие (4 часа(ов)):*

Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках. Принципиальная схема. Энергетический критерий термоакустической неустойчивости.

##### Тема 7. Механизмы обратной связи автоколебаний.

###### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Механизмы обратной связи автоколебаний с мягким и жестким режимом возбуждения.

### **Тема 8. Энергетический подход в неустойчивости горения.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Энергетический подход. Акустическая мощность области теплоподвода. Критерий Рэлея.

### **Тема 9. Решение задач на основе энергетического подхода.**

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач на основе энергетического подхода.

### **Тема 10. Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в камерах сгорания промышленных энергетических установок.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в камерах сгорания промышленных энергетических установок. Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в моделях камер сгорания промышленных энергетических установок, использующих газообразное, жидкое и твердое топливо.

### **Тема 11. Автоколебания газа при горении в трубе.**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Автоколебания газа при горении в трубе, резонаторе Гельмгольца и установке типа емкость-труба. Приложение к промышленным установкам, использующим газообразное, жидкое и твердое топливо.

### **Тема 12. Пульсационное горение камерах сгорания реактивных двигателей.**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Пульсационное горение в моделях камер сгорания ракетных и авиационных двигателей.

## **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
5.	Тема 5. Решение задач по общей теории устойчивости.	3	5-7	подготовка к коллоквиуму	12	коллоквиум
6.	Тема 6. Физические основы автоколебаний в энергетических установках.	3	8	подготовка к коллоквиуму	6	коллоквиум
8.	Тема 8. Энергетический подход в неустойчивости горения.	3	10	подготовка к коллоквиуму	6	коллоквиум
9.	Тема 9. Решение задач на основе энергетического подхода.	3	11-13	подготовка к коллоквиуму	12	коллоквиум
	Итого				36	

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Устное изложение учебного материала в ходе проведения лекций.

Демонстрация материалов занятий с помощью презентаций;

Применение различных методов моделирования физических процессов, сопровождающих изучаемые явления;

Разработка и конструирование новых объектов, реализующих изученные физические процессы;

Решение задач;

Проведение исследований, самостоятельное изучение процессов, осуществление наблюдений за ними и формулировка соответствующих выводов;

Сдача зачета по курсу изучаемой дисциплины.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Тема 1. Общая характеристика неустойчивости горения.**

**Тема 2. Применение пульсирующего горения на практике.**

**Тема 3. Основы общей теории устойчивости**

**Тема 4. Критерии устойчивости.**

**Тема 5. Решение задач по общей теории устойчивости.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Общие вопросы теории устойчивости. Алгебраические критерии устойчивости. Физические основы устойчивости систем. Основные формульные зависимости. Применение критериев устойчивости. Решение частных задач.

**Тема 6. Физические основы автоколебаний в энергетических установках.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Общие вопросы автоколебаний. Механизмы возбуждения автоколебаний. Механизмы поддержания автоколебаний. Автоколебания в энергоустановках. Предотвращение автоколебаний.

**Тема 7. Механизмы обратной связи автоколебаний.**

**Тема 8. Энергетический подход в неустойчивости горения.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Неустойчивость горения. Виды неустойчивости горения. Классификация неустойчивости горения. Критерий Рэлея. Энергетические соотношения. Физические основы устойчивости систем. Основные формульные зависимости. Применение критериев для решения задач. Решение частных задач.

**Тема 9. Решение задач на основе энергетического подхода.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Общие вопросы теории устойчивости. Критерий Рэлея. Энергетические соотношения. Физические основы устойчивости систем. Основные формульные зависимости. Применение критериев для решения задач. Решение частных задач.

**Тема 10. Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в камерах сгорания промышленных энергетических установок.**

**Тема 11. Автоколебания газа при горении в трубе.**

**Тема 12. Пульсационное горение камерах сгорания реактивных двигателей.**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Примерные вопросы на зачет.

Общая характеристика явления акустической неустойчивости процесса горения.

Проблема возбуждения колебаний газа в камерах сгорания ракетных и авиационных двигателей.

Применение пульсационного режима горения на практике.



Интенсификация процессов горения и тепломассообмена.  
Утилизация промышленных и бытовых отходов.  
Основы общей теории устойчивости, понятия и определения.  
D-разбиение по одному параметру.  
Критерии устойчивости.  
D-разбиение по двум параметрам.  
Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках.  
Принципиальная схема.  
Энергетический критерий термоакустической неустойчивости.  
Механизмы обратной связи автоколебаний с мягким и жестким режимом возбуждения.  
Энергетический подход.  
Акустическая мощность области теплоподвода.  
Критерий Рэлея.  
Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в камерах сгорания промышленных энергетических установок.  
Физические механизмы и условия возбуждения колебаний газа в моделях камер сгорания промышленных энергетических установок, использующих газообразное, жидкое и твердое топливо.  
Автоколебания газа при горении в трубе, резонаторе Гельмгольца и установке типа емкость-труба.  
Автоколебания газа в промышленных установках, использующим газообразное, жидкое и твердое топливо.  
Пульсационное горение в моделях камер сгорания ракетных и авиационных двигателей.

### 7.1. Основная литература:

Алексеев, Вадим Васильевич. Курс физики: учебное пособие / В.В. Алексеев, Л.И. Маклаков; Федер. агентство по образованию, Казан. гос. архит.--строит. ун-т. ?Изд. 3-е, перераб..?Казань: [КГАСУ], 2009. ?; 20.  
Т. 2: Электродинамика. Колебания и волны. ?2009. ?132 с.: ил.. ?ISBN 978-5-7829-0242-1, 250.  
Ахманов, Сергей Александрович. Статистическая радиофизика и оптика: случайные колебания и волны в линейных системах / С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. ?Изд. 2-е, перераб. и доп.. ?Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. ?425 с.: ил.; 22. ?Указ.. ?Библиогр. в конце гл.. ?Предм. указ.: с. 421-425. ?ISBN 978-5-9221-1204-8((в пер.)), 300.  
Савельев, Игорь Владимирович. Курс физики: В 3-х т.: учеб. пособие для студ. вузов / И. В. Савельев. ?СПб.: ЛАНЬ, Б.г.. ?(Учебники для вузов. Специальная литература).  
Т.2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. ?2-е изд., стер.. ?2006. ?480 с.: ил.. ?ISBN 5-8114-0686-X: р.403.43.

### 7.2. Дополнительная литература:

Ларионов В.М. Автоколебания газа в энергетических установках.: Учебное пособие / В.М.Ларионов - Казань: изд-во Казан.гос. ун-та, 2006. 164 с.  
Ларионов В.М. Автоколебания газа в установках с горением. / В.М. Ларионов, Р.Г. Зарипов . - Казань: Изд-во Казан. гос. технич. ун-та. - 2003. - 237 с.  
Раушенбах Б.В. Вибрационное горение. М.: Физматгиз. 1961 -500с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Бобылев, Юрий Владимирович. Нелинейные явления -  
[http://z3950.ksu.ru/bcover/0000664491\\_con.pdf](http://z3950.ksu.ru/bcover/0000664491_con.pdf)

Лекции о теплотехнике - <http://stringer46.narod.ru/BurningOfGas.htm>

Принципы создания устойчивого процесса сжигания газа в топливнике - <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-4/14.htm>

Теория горения - <http://www.nizrp.narod.ru/toplivoiteor2.pdf>

Устойчивость горения взрывчатых веществ - [http://www.libma.ru/tehnicheskie\\_nauki/vzryv/p5.php](http://www.libma.ru/tehnicheskie_nauki/vzryv/p5.php)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану**

Освоение дисциплины "Устойчивость процессов горения в энергетических установках" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 223200.68 "Техническая физика" и магистерской программе не предусмотрено .

Автор(ы):

Ларионов В.М. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Зарипов Р.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.