

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  
**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Юнаков Л. П.  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Направление/специальность подготовки	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Авиационная и ракетно-космическая теплотехника
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	4	144	51	34	0	17	93	36	0	57	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.04.05 Двигатели летательных аппаратов**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Мальков Виктор Михайлович, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-2.01 — способность проводить анализ газодинамических и теплообменных процессов, сопровождающих работу энергоустановок авиационной и ракетно-космической техники
ОПК-1 — способность осуществлять подготовку научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров по результатам выполненных исследований и разработок
ОПК-4 — способность использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов для постановки и решения научно-технических задач по направлению подготовки

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-2.01**

*знания:*

Знает основные положения, законы и методы естественных наук и математики;

*умения:*

Умеет разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов при решении научно-технических задач по направлению двигателя и энергоустановки летательных аппаратов;

*навыки:*

Имеет навыки интерпретации физических и математических моделей при решении научно-технических задач по двигателям и энергоустановкам летательных аппаратов.

### **ОПК-1**

*знания:*

Знает физическую сущность газодинамических и теплообменных процессов, сопровождающих функционирование энергоустановок авиационной и ракетно-космической техники;

*умения:*

Умеет планировать и проводить анализ газодинамических и теплообменных процессов в энергоустановках авиационной и ракетно-космической техники;

*навыки:*

Имеет навыки проведения анализа газодинамических и теплообменных процессов в энергоустановках авиационной и ракетно-космической техники.

### **ОПК-4**

*знания:*

Знает требования и правила подготовки научных публикаций, отчетов, обзоров;

*умения:*

Умеет составлять научно-технические обзоры и отчеты по результатам выполнения исследований и разработок;

*навыки:*

Имеет навыки оформления разрешительных документов на публикации в открытой печати.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.04.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ**

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2.01	ОПК-1	ОПК-4
5	9	<b>Раздел 1. Лазеры.</b> Полупроводниковые, ТТЛ - твердотельные, волоконные, лазеры на красителях, газовые эл/разрядные лазеры, FEL. Мощные сверхзвук. газовые и химические лазеры - СХГЛ. Мобильные лазерные комплексы-МЛК специального назначения. СО2 ГДЛ.	29	9	6	3	20	20	20	20
5	9	<b>Раздел 2. Энергетические установки.</b> Энергетические установки: определение и виды. Основы квантовой электроники. Физические принципы работы твердотельных лазеров, волоконных, лазеров на красителях.	30	10	7	3	20	20	20	20
5	9	<b>Раздел 3. Сверхзвуковые химические лазеры.</b> Сверхзвуковые химические лазеры - химическая накачка. HF/DF –лазеры. Сверхзвуковые химические кислород-йодные лазеры – ХКЙЛ.	29	11	7	4	18	20	20	20
5	9	<b>Раздел 4. Прохождение излучения в атмосфере.</b> Прохождение излучения в атмосфере: поглощение - коэфф. экстинкции, рассеяние на неоднородностях плотности. Окна «прозрачности». Турбулентность – основные характеристики. Модель Колмогорова. Аэрооптическая задача. Адаптивная оптика. Сравнение характеристик разных типов мощных лазеров: ТТЛ, волоконных, FEL, сверхзвуковых химических - с точки зрения перспективы их использования для мобильных комплексов специального назначения. Система наведения. Телескопы.	29	11	7	4	18	20	20	20
5	9	<b>Раздел 5. Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок.</b> Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок: этапы, параметрические численные исследования на основе 3-D вязких моделей с целью оптимизации. Роль теории и эксперимента. Верификация численных моделей.	27	10	7	3	17	20	20	20
<b>Всего за 9 семестр</b>			144	51	34	17	93	100	100	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	51	34	17	93	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Лазеры.	Устройство лазера и всех его систем (э/питание, системы охлаждения, резонатор, юстировка резонатор).	3
2	Раздел 2. Энергетические установки.	Правила работы с оптическими квантовыми генераторами.	3
3	Раздел 3. Сверхзвуковые химические лазеры.	Методика разработки и создания СВД, программы расчета характеристик СВД (диффузоры, эжектора)	4
4	Раздел 4. Прохождение излучения в атмосфере.	Методика расчета прохождения излучения через турбулентную среду. Программа расчета интенсивности излучения в дальней зоне на цели.	4
5	Раздел 5. Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок.	Примеры расчетов прохождения излучения по трассам «земля-воздух», «воздух –земля», «земля-космос», «воздух-космос».	3
<b>Всего за 9 семестр</b>			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Лазеры.	Изучение дидактических единиц данного раздела.	20
2	Раздел 2. Энергетические установки.	Изучение дидактических	20

		единиц данного раздела.	
3	Раздел 3. Сверхзвуковые химические лазеры.	Изучение дидактических единиц данного раздела.	18
4	Раздел 4. Прохождение излучения в атмосфере.	Изучение дидактических единиц данного раздела.	18
5	Раздел 5. Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок.	Изучение дидактических единиц данного раздела.	17
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>93</b>

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Анализ задания. Изучение литературы по теме работы. Обзор состояния научно-технических разработок по теме курсового проекта. Постановка задачи исследований. Составление плана необходимых исследований и расчетов.	1 - 3	7
Этап 2. Анализ технических проблем. Конструкторские проработки в среде пакетов САД. Подготовка исходных данных для расчетов. Проведение расчетов, анализ результатов и формулирование выводов.	4 - 13	20
Этап 3. Составление пояснительной записки к работе. Подготовка иллюстративного материала или презентации работы.	14 - 16	7
Этап 4. Защита курсового проекта.	16 - 17	2
<b>Всего за 9 семестр</b>		<b>36</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>9</b>					ТекК	ДР			ТекК	ДР					ТекК	ДР	КП

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- КП – курсовой проект.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Беляев, А. П. Жевлаков, В. В. Лобачёв. Оптика мощных лазеров. Ч. 3 Система вывода излучения. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2002, эл. рес.
2. А. В. Савин, И. А. Киселёв. . Моделирование рабочих процессов химического кислородно-йодного лазера. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 73 экз.
3. А. В. Савин, И. А. Киселёв. . Моделирование рабочих процессов химического кислородно-йодного лазера. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
4. А. С. Борейшо. . Лазеры: устройство и действие. СПб.: Лань, 2021, эл. рес.
5. А. С. Борейшо. . Лазеры: устройство и действие. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
6. В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Основы проектирования проточных газовых лазеров. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, эл. рес.
7. В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Газовая динамика рабочего канала сверхзвуковых газовых лазеров. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, эл. рес.
8. В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. Газовая динамика рабочего канала сверхзвуковых газовых лазеров. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 63 экз.
9. В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Системы восстановления давления для сверхзвуковых химических лазеров. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009, эл. рес.
10. О. Звелто. . Принципы лазеров. СПб.: Лань, 2008, 29 экз.
11. О. Звелто. . Принципы лазеров. М.: Мир, 1990, эл. рес.
12. ред. В. В. Лобачёв ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Оптика мощных лазеров. Ч. 4 Зеркала. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, 70 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. . Химические лазеры. М.: Мир, 1980, 3 экз.
2. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Устройство и действие энергетических аппаратов и систем. СПб.: НИЦ АРТ, 2020, 1 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник академии военных наук.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
2. Google Chrome;



- 3. Matlab 2015a SP1;
- 4. Microsoft Office.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Установка для изучения истечения газа из баллона;
2. Проектор;
3. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
4. Google Chrome;
5. Matlab 2015a SP1;
6. Microsoft Office.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.04.05 *Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-2.01 способность проводить анализ газодинамических и теплообменных процессов, сопровождающих работу энергоустановок авиационной и ракетно-космической техники;

ОПК-1 способность осуществлять подготовку научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров по результатам выполненных исследований и разработок;

ОПК-4 способность использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов для постановки и решения научно-технических задач по направлению подготовки.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами и технологиями современных экспериментальных и диагностических исследований гидроаэромеханических и теплофизических процессов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Лазеры.</b>		
Изучение дидактических единиц данного раздела.	А. С. Борейшо. . Лазеры: устройство и действие: СПб.: Лань, 2021 (1) В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Основы проектирования проточных газовых лазеров: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (1) . Химические лазеры: М.: Мир, 1980 (1) О. Звелто. . Принципы лазеров: СПб.: Лань, 2008 (1-3) О. Звелто. . Принципы лазеров: М.: Мир, 1990 (1-3)	20
Итого по разделу 1		20
<b>Раздел 2. Энергетические установки.</b>		
Изучение дидактических единиц данного раздела.	О. Звелто. . Принципы лазеров: СПб.: Лань, 2008 (5) В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Основы проектирования проточных газовых лазеров: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (2) А. С. Борейшо. . Лазеры: устройство и действие: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (3)	20
Итого по разделу 2		20
<b>Раздел 3. Сверхзвуковые химические лазеры.</b>		
Изучение дидактических единиц данного раздела.	А. В. Савин, И. А. Киселёв. . Моделирование рабочих процессов химического кислородно-йодного лазера: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-3) А. В. Савин, И. А. Киселёв. . Моделирование рабочих процессов химического кислородно-йодного лазера: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-3) В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Газовая динамика рабочего канала сверхзвуковых газовых лазеров: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-2) О. Звелто. . Принципы лазеров: СПб.: Лань, 2008 (6) В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. Газовая динамика рабочего канала сверхзвуковых газовых лазеров: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-2) В. М. Мальков, И. А. Киселёв, А. Е. Орлов. . Системы восстановления давления для сверхзвуковых химических лазеров: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (1-2)	18
Итого по разделу 3		18
<b>Раздел 4. Прохождение излучения в атмосфере.</b>		
Изучение дидактических единиц данного раздела.	О. Звелто. . Принципы лазеров: СПб.: Лань, 2008 (7-8) А. А. Беляев, А. П. Жевлаков, В. В. Лобачёв. Оптика мощных лазеров. Ч. 3 Система вывода излучения: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2002 (4)	18

	В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Устройство и действие энергетических аппаратов и систем: СПб.: НИЦ АРТ, 2020 (2)	
Итого по разделу 4		18
<b>Раздел 5. Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок.</b>		
Изучение дидактических единиц данного раздела.	<p>О. Звелто. . Принципы лазеров: СПб.: Лань, 2008 (11-12) ред. В. В. Лобачёв ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Оптика мощных лазеров. Ч. 4 Зеркала: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (3-4)</p> <p>А. С. Борейшо. . Лазеры: устройство и действие: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (7)</p> <p>А. А. Беляев, А. П. Жевлаков, В. В. Лобачёв. Оптика мощных лазеров. Ч. 3 Система вывода излучения: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2002 (3-4)</p>	17
Итого по разделу 5		17

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы для текущего контроля

Текущий контроль (ТК) с использованием тестовых заданий и вопросов. Вопросы для текущего контроля входят в состав УМК дисциплины.

В тестировании используется 10 вопросов по разделам дисциплины.

Оценка усвоения дисциплины проводится по 100 бальной шкале:

- рейтинг теста меньше 30 баллов (ответ на 5 и менее вопросов) – ТК не сдан,
- рейтинг теста от 30 до 60 баллов (ответ на 6 вопросов) – дополнительное собеседование (2 вопроса), при положительных ответах ТК сдан;
- рейтинг теста от 60 до 100 баллов (ответ на 7 и более вопросов) – ТК сдан.

#### Курсовой проект

Перечень тем курсовых проектов входит в состав УМК дисциплины.

Пояснительная записка к курсовому проекту представляется в печатной форме с использованием редактора Word (образец в составе УМК по дисциплине).

Критерии оценивания (в 10-и бальной системе):

- правильный расчёт, оформление результатов в соответствии с требованиями и их защита – 10 баллов, основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от 5 до 2 являются:
- неуверенная защита результатов расчёта;
- неполный или отсутствующий перечень предложений по содержанию задания;
- небрежное выполнение пояснительной записки,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба графиков, отсутствие указания единиц измерения на графиках),

Требования к защите КП: Защита КП осуществляется перед комиссией из преподавателей, назначенной приказом по кафедре в свободной форме “вопрос - ответ”.

Вес контрольных этапов выполнения КП:

- активность и самостоятельность в ходе выполнения КП – 25%;
- оформление пояснительной записки к КП – 15%;
- своевременное выполнение КП по графику контрольных мероприятий – 20%;
- уровень защиты результатов, ответов на контрольные вопросы – 50%.

Критерии оценивания защиты КП (по 100 бальной шкале)

- постановка проблемы, корректное изложение смысла основных научных идей, их теоретическое обоснование и объяснение 10 баллов;
- логичность и последовательность в изложении материала 10 баллов;
- способность к работе с литературными источниками, Интернет-ресурсами, справочной и энциклопедической литературой 15 баллов;
- объем исследованной литературы и других источников информации 15 баллов;
- способность к анализу и обобщению информационного материала, степень полноты обзора состояния вопроса 15 баллов;
- обоснованность выводов 15 баллов;
- правильность оформления (соответствие стандарту, структурная упорядоченность, аннотация, ссылки, цитаты, таблицы и т.д.) 10 баллов;
- соблюдение объёма, шрифтов, интервалов (соответствие оформления правилам компьютерного набора

текста) 10 баллов.

Количество баллов за КП соответствуют следующей оценке:

- при наборе студентом менее 50 баллов – оценка "не защитил";
- при наборе студентом от 51 до 65 баллов – оценка "удовлетворительно";
- при наборе студентом от 66 до 85 баллов – оценка "хорошо";
- при наборе студентом от 86 до 100 баллов – оценка "отлично"

### **Экзамен**

Итоговый контроль по дисциплине проходит в форме экзамена. Экзамен проводится в форме устных ответов на 2 вопроса экзаменационного билета. Комплект билетов входит в состав УМК дисциплины. Итоги сдачи экзамена оцениваются следующим образом:

- полный правильный ответ на оба вопроса – отлично;
- полный правильный ответ на один из вопросов с дополнительным собеседованием по второму – хорошо;
- неполные ответы на оба вопроса с дополнительным собеседованием по их тематике – удовлетворительно;
- неправильные ответы и не готовность к собеседованию по темам билета – неудовлетворительно.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2.01	ОПК-1	ОПК-4	
5	9	Раздел 1. Лазеры.	29	9	6	3	20	20	20	20	Вопросы для текущего контроля
5	9	Раздел 2. Энергетические установки.	30	10	7	3	20	20	20	20	Вопросы для текущего контроля
5	9	Раздел 3. Сверхзвуковые химические лазеры.	29	11	7	4	18	20	20	20	Вопросы для текущего контроля
5	9	Раздел 4. Прохождение излучения в атмосфере.	29	11	7	4	18	20	20	20	Курсовой проект
5	9	Раздел 5. Общие принципы разработки и создания сложных газодинамических установок.	27	10	7	3	17	20	20	20	Курсовой проект
Всего за 9 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100	



## Критерии оценивания

### ПСК-2.01

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 На основании чего осуществляется моделирование течения в аэродинамической трубе (А/Д-трубе)?
- № 2 Подобие бывает Полным и Частичным. В А/Д-экспериментах достаточным считается достижение частичного подобия, потому что нельзя одновременно удовлетворить подобию по числам...
- № 3 Поток в сверхзвуковой трубе, рассчитанной на числа Маха больше 4, должен быть подогретым потому, что...
- № 4 Принцип работы термоанемометра заключается в...
- № 5 Прогресс и принципиальные успехи (открытия, новые направления) в научных исследованиях сегодня - в основном – связаны с...
- № 6 Сегодня при решении новых нетрадиционных задач (неравновесных течений с диссоциацией и ионизацией, с излучением, с химией и т. д.) связанных с разработкой гиперзвуковых аппаратов, сверхзвуковых и химических лазеров, двигателей нового поколения, ведущим и определяющим успех является...
- № 7 Что есть полное давление потока?
- № 8 Что есть статическое давление в потоке?
- № 9 Что является обязательной частью измерительного комплекса аэродинамических труб - АДТ (как импульсных, так и непрерывного действия) и баллистических трасс?
- № 10 Что позволяет визуализировать турбулентность потока при Оптическом Методе Визуализации (ОМВ)?
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Какая аппаратная особенность шлирен-метода является ключевой?
1. Никаких особенностей нет
  2. Параллельный пучок света после прохождения рабочей части с моделью собирается обратным телескопом (коллиматором) в точку
  3. Для регистрации картины течения используется специальный объектив
  4. В перетяжке пучка после обратного телескопа используется специальный «нож»
- № 2 Какой метод позволяет получить количественную информацию о поле плотности потока при Оптической Визуализации?
1. Интерферометрический метод
  2. Прямотеневой метод
  3. Шлирен-метод
- № 3 Для чего нужен выхлопной сверхзвуковой диффузор в системе выхлопа аэродинамической трубы (АДТ)?
1. Для того, что бы затормозить сверхзвуковой поток
  2. Диффузор, переводя поток в дозвуковой режим течения, позволяет обеспечить более эффективный режим работы эжектора, и таким образом, сократить расход высоконапорного воздуха в системе выхлопа АДТ
  3. Для повышения статического давления в потоке
- № 4 Каким устройством можно измерить турбулентность (интенсивность пульсаций) потока?
1. Термоанемометром
  2. Тепловизором
  3. Термопарой

4. Пирометром
- № 5 Газодинамический канал сверхзвукового химического лазера - СХЛ - структурно такой же, как и канал сверхзвуковой аэродинамической трубы - АДТ (форкамера, сопло, рабочая часть, система выхлопа). Что все-таки принципиально отличает эти два случая? (указать все отличия)
1. Форма каналов в рабочей части и резонаторной полости
  2. Температуры газовых потоков
  3. Уровни давлений
  4. Тепловыделение в потоке СХЛ
  5. Организация выхлопа в атмосферу
  6. Характер течения: равновесный и неравновесный
  7. Числа  $Re$  в потоках
8. Скорости потоков в рабочей части и резонаторе
- № 6 В СХЛ используют многосопловые блоки, поле течения за которыми содержит газодинамические неоднородности плотности. Какие неоднородности оказывают определяющее влияние на Оптическое качество потока?
1. Регулярные структуры – ударные волны и волны разрежения
  2. Турбулентные структуры – сверхзвуковые следы за лопатками
  3. Пограничные слои на стенках канала
- № 7 Главное отличие - с точки зрения общей газодинамики - течения газа в тракте сверхзвукового химического лазера (СХЛ) от течения в АДТ, которое приводит к необходимости делать рабочую часть СХЛ – лазерную полость - отличной от рабочей части АДТ:
1. Низкое давление в потоке СХЛ и, соответственно, низкие числа  $Re$
  2. Разный состав рабочего газа
  3. Тепловыделение в потоке СХЛ
- № 8 Распределение статического давления на стенке канала выхлопного диффузора – ДФ, характеризующее процесс торможения сверхзвукового потока, качественно отличаются в случае ДФ СХЛ и обычного ДФ (например, ДФ АДТ). Это связано:
1. Разной конструкцией соплового блока и, следовательно, разной структурой потока на входе в ДФ
  2. С низким давлением в потоке СХЛ
  3. С разной геометрией канала
  4. С тепловыделением в потоке СХЛ
- № 9 Решение обратной задачи о профиле сопла (когда задано распределение скорости или давления по оси и строятся линии тока для такого потока) позволяют получить контур, который:
1. Позволяет получить равномерное распределение параметров потока на выходе
  2. Является соплом с максимальным импульсом потока на выходе
  3. Является контуром минимальной длины
- № 10 Когда можно проводить решение прямой задачи о профиле в сверхзвуковой и дозвуковой частях сопла раздельно:
1. Когда поверхность перехода криволинейна, но выгнута в сторону сверхзвука

2. Когда поверхность перехода дозвукового потока в сверхзвуковой плоская (звуковая поверхность в критическом сечении)

3. Когда поверхность перехода криволинейна, но выгнута в сторону дозвука

### ОПК-1

#### Вопросы открытого типа:

- № 1 В ХКЙЛ наилучшее смешение двух компонент- основного потока ( $O_2 + N_2$ ) и ( $I_2 + N_2$ ) - достигается при подаче ( $I_2 + N_2$ )
- № 2 Газодинамический канал сверхзвукового химического лазера-СХЛ структурно такой же как и канал АДТ (форкамера, сопло, рабочая часть, система выхлопа). Что принципиально отличает эти два случая? (указать все отличия)
- № 3 Какое главное отличие с точки зрения общей газодинамики- течения газа в тракте химлазера от течения в аэродинамической трубе – АДТ?
- № 4 Какое главное условие возникновения инверсной населенности в химическом лазере HF/ DF?
- № 5 Для верификации констант скоростей релаксации уровней энергии, используемых при расчете инверсии в потоке газа, нужно знать (измерить)...
- № 6 Какой Генератор Синглетного Кислорода –ГСК обеспечивает наибольшее давление перед соплами лазера ХКЙЛ?
- № 7 Какой лазер самый «выгодный» с точки зрения прохождения его излучения через атмосферу ( $\lambda$  с наименьшим коэффициентом экстинкции)?
- № 8 У сверхзвукового  $CO_2$  - ГДЛ «накачка»...
- № 9 На каких переходах работает химический кислород йодный лазер- ХКЙЛ?
- № 10 За счет чего резко улучшается эффективность лазерной резки?

#### Вопросы закрытого типа:

- № 1 В каком сверхзвуковом газовом лазере самое низкое статическое давление в лазерной камере (резонаторе)?
  - 1. Химическом кислород-йодном лазере
  - 2. Химическом HF/DF–лазере
  - 3.  $CO_2$  –ГДЛ
- № 2 В Сверхзвуковых Химических Лазерах из-за низкого давления в лазерной камере для выхлопа отработанной лазерной смеси используют специальные выхлопные системы. Какую систему используют для мощных СХЛ?
  - 1. Криогенно – адсорбционные ёмкости
  - 2. Вакуумные ёмкости
  - 3. Эжекторные системы
- № 3 Как влияет реальная структура течения – ударные волны – на величину коэффициента усиления инверсной среды:
  - 1. Коэффициент усиления увеличивается
  - 2. Коэффициент усиления уменьшается
- № 4 Какие на сегодня самые мощные лазеры непрерывного действия?
  - 1. Лазеры на красителях
  - 2. Сверхзвуковые химические лазеры – схл
  - 3. Твердотельные лазеры –ттл
  - 4. Полупроводниковые
- № 5 Какой тип квантовых переходов является определяющим в работе лазера?
  - 1. Вынужденное поглощение
  - 2. Спонтанное излучение

3. Вынужденное излучение  
 № 6 Лазер - это...
1. Оптический Квантовый Генератор
2. Оптический Квантовый Усилитель  
 № 7 На каких переходах работают лазеры инфракрасного диапазона излучения?
1. Вращательных
2. Колебательных
3. колебательно- вращательных
4. электронных  
 № 8 При равновесном характере движения газа распределение внутренней энергии молекул по уровням описывается:
1. Распределением Максвелла
2. Распределением Больцмана  
 № 9 При расширении нагретой смеси газов в малоразмерном сопле, в виду неравновесного характера течения, систему уравнения движения газа необходимо корректировать. Необходимо корректировать:
1. Уточняется вся система уравнений
2. Уравнения сохранения импульса
3. Уравнение энергии  
 № 10 Что определяет волновая функция в уравнении Шредингера?
1. Вероятность нахождения электрона в точке
2. Радиус орбиты электрона

#### ОПК-4

##### *Вопросы открытого типа:*

- № 1 Анализ и обезразмеривание уравнений сохранения импульсов приводит к требованию сохранения при обтекании модели и натурного аппарата чисел...
- № 2 В больших трансзвуковых А/Д-трубах повышение числа Рейнольдса достигается...
- № 3 В чем особенность измерения давления сверхзвукового течения классической трубкой Пито-Прандтля?
- № 4 В чем принципиальные трудности газодинамического эксперимента при гиперзвуковых скоростях?
- № 5 Для чего используется метод шлирен-фотографии?
- № 6 Дозвуковые А/Д-трубы стремятся сделать большими (натурными или почти натурными) потому что при малых размерах рабочей части не получается достичь одновременно подобия по числам...
- № 7 Как должно располагаться отверстие на датчике для измерения полного давления потока?
- № 8 Как должно располагаться приемное отверстие для измерения статического давления потока?
- № 9 Как получаются критерии подобия в теории «Гидродинамического подобия»?
- № 10 Какими параметрами обычно характеризуют диапазон рабочих характеристик А/Д-труб?

##### *Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Поскольку в потоке в химическом сверхзвуковом лазере в лазерной камере-ЛК происходит тепловыделение  $dQ > 0$  то, что бы поток не затормозился, надо предпринять следующее:
1. Использовать в системе восстановления давления - СВД лазера мощный эжектор

2. Сделать канал после соплового блока - СБ раскрывающимся так, чтобы угол раскрытия компенсировал  $dQ > 0$
  3. Охлаждать рабочий канал лазера
- № 2 Адаптивные зеркала используемые в выходном телескопе:
1. Выравнивают волновой фронт- ВФ излучения так, чтобы расходимость его была близка к дифракционной
  2. Искривляют ВФ в соответствии с информацией о турбулентности по трассе так, чтобы добиться оптимального прохождения общего луча до цели (получить  $\max I_0$ )
  3. Подстраивают и исправляют ВФ излучения после прохождения системы формирования и ввода луча в телескоп
- № 3 Активный диффузор – АД разрабатывался с целью:
1. Организовать 1-ую ступень СВД, сделав её максимально короткой за счет распределенной подачи эжектирующего газа
  2. Устранить обратное влияние возмущений, приходящих от эжектора по толстым пограничным слоям, выросшим на стенках ЛК
  3. Что бы АД смог выполнять все функции, перечисленные выше
  4. Ускорить поток в ЛК, что бы понизить статическую температуру потока в ЛК и, значит, «температуру» нижнего лазерного уровня – его населенность
- № 4 В аэродинамике существуют входные (воздухозаборники реактивных двигателей) и выхлопные диффузоры- ДФ (выхлопы аэродинамических труб- АДТ и СВД). Есть ли между ними разница с точки зрения физики процесса и величины восстановления давления?
1. Разницы нет: там и там поток тормозится в системе косых скачков и восстановление давления в обоих случаях близко к давлению за прямым скачком
  2. В выхлопных ДФ торможение происходит в канале с выросшим на стенках пограничным слоем- ПС, поэтому есть потери полного давления из-за вязких потерь и восстановление давления меньше, чем за прямым скачком. Во входных ДФ ПС почти отсутствует (только зарождается) и торможение в двух (или трех) косых эффективнее, чем в одном прямом скачке.
  3. Процесс торможения тот же самый – в косых скачках, но входные ДФ короче выхлопных и у них восстановление давления близко к давлению за прямым скачком
- № 5 В сверхзвуковых лазерах с много сопловыми блоками- МСБ оптическое качество- ОК среды в ЛК определятся:
1. В основном турбулентной, а влияние регулярной структуры можно снизить выбором хода лучей в резонаторе и местом его расположения в ЛК
  2. В основном регулярной структурой
- общей структурой течения, которая включает в себя регулярную структуру (систему ударных волн и волн разрежения) и турбулентную (следы за лопатками МСБ, пограничные слои на стенках ЛК), и интенсивностью этих структур
- № 6 Вывод излучения мощного лазера из резонаторной полости в атмосферу осуществляется через:
1. Окно, «закрытое» сверхзвуковой криволинейной воздушной струей
  2. Окно, закрытое оптическим материалом
  3. Узкую щель (узкий пучок формируется оптикой внутри резонаторной полости)
- № 7 Для мощных сверхзвуковых лазеров наиболее подходящим является тип

резонатора:

1. Неустойчивый многопроходный
2. Устойчивый, плоскопараллельный, многомодовый

Устойчивый конфокальный

№ 8 Если канал в ЛК химического кислород - йодного лазера - ХКЙЛ сделать расширяющимся, то толстые пограничные слои -ПС (из-за низких чисел  $Re$  в потоке) на угле отрываются и на входе в резонатор возникают X-образные скачки уплотнения. Как избежать этого негативного эффекта:

1. Нужно использовать «источниковый» СБ и активный диффузор –АД
2. Достаточно использовать «источниковый» СБ (у которого вектор скорости на выходе совпадал бы с углом раскрытия ЛК)

3. С помощью форвакуумного насоса «отсосать» ПС

№ 9 Если существует предельная мощность лазера, выше которой поднимать  $P_w$  не имеет смысла, то чем эта величина определяется:

1.  $P_w = \max$  – в основе эффект термоблужинга - определяется состоянием атмосферы и местом базирования лазерного комплекса

2.  $P_w = \max$  зависит от состояния атмосферы и оптики лазера (диаметра выходного телескопа)

3.  $P_w = \max$  конкретизировать эту величину трудно – зависит от большого числа параметров: от длины волны лазера, диаметра выходного телескопа, угла наклона трассы, скорости движения цели, от состояния атмосферы( зимой и летом разные условия), места базирования лазера, скорости движения цели

№ 10 С ростом мощности лазера -  $P_w$  интенсивность  $I_0$  на цели в центральном пятне растёт на любом расстоянии. Это верно?

1. Не всегда, зависит от типа лазера

2. Есть мощность  $P_w = \max$  - для каждого типа лазера своя, выше которой поднимать мощность не имеет смысла,  $I_0$  на цели не растёт

3. Да, верно