

**МИНОБРНАУКИ 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

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление/специальность подготовки	24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика
Специализация/профиль/программа подготовки	Гидроаэродинамика
Уровень высшего образования	Бакалавриат
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	
4	8	3	108	39	13	0	26	69	0	0	69	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Брыков Никита Александрович, к.т.н., доцент, доцент

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**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **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-2.1 — Способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов аэрогидрогазодинамики и теплообмена
ПСК-2.4 — Способность проводить исследования по аэрогидрогазодинамике и процессам теплообмена с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПСК-2.1**

*знания:*

на уровне представлений: основы численных методов; основные законы физики, химии;

на уровне воспроизведения: методы моделирования высокоинтенсивных процессов, в которых имеет место быстрое изменение параметров.

на уровне понимания: принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности;

*умения:*

теоретические: строить математические модели физических явлений, химических процессов; использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

практические: анализировать результаты вычислительного эксперимента с привлечением методов математической статистики и информационных технологий; использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

*навыки:*

владения основными аналитическими и численными методами решения алгебраических и дифференциальных уравнений и их систем; основными методами теоретического и численного исследования физических и химических явлений, методами поиска и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий.

## **ПСК-2.4**

*знания:*

на уровне представлений: основы численных методов; основные законы физики, химии;

на уровне воспроизведения: методы моделирования высокоинтенсивных процессов, в которых имеет место быстрое изменение параметров;

на уровне понимания: принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности;

*умения:*

теоретические: строить математические модели физических явлений, химических процессов; использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

практические: анализировать результаты вычислительного эксперимента с привлечением методов математической статистики и информационных технологий; использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

*навыки:*

владения основными аналитическими и численными методами решения алгебраических и дифференциальных уравнений и их систем; основными методами теоретического и численного исследования физических и химических явлений, методами поиска и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АРКТ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен использовать современные подходы и методы решения задач ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров
- ПСК-2.1 — Способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов аэрогазодинамики и теплообмена
- ПСК-2.4 — Способность проводить исследования по аэрогазодинамике и процессам теплообмена с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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-2.1	ПСК-2.4
4	8	<b>Раздел 1. Газовые смеси. Процессы переноса.</b> Математические модели в кинетике. Газовые смеси. Параметры и явления переноса. Термодинамика высокоинтенсивного переноса. Кинетика горения. Цепные реакции. Математические модели кинетических процессов. Жесткие системы дифференциальных уравнений, как модели кинетических процессов. Быстрые и медленные переменные. Методы интегрирования жестких систем.	28	12	4	8	16	20	20
4	8	<b>Раздел 2. Подвод энергии в поток газа. Газовая детонация.</b> Подвод энергии в поток газа. Дефлаграция и детонация. Сверхзвуковое горение. Газовая детонация. Гидродинамическая теория детонации. Условие Жуге. Модель Зельдовича - Деринга - Неймана. Структура и механизмы распространения детонационной волны.	27	9	3	6	18	20	20
4	8	<b>Раздел 3. Детонация конденсированных взрывчатых веществ.</b> Математические модели детонационных процессов. Численное моделирование детонации. Импульсные модели действия взрыва. Работа взрыва на выброс. Подводный и подземный взрывы. Взрыв в воздухе.	26	8	2	6	18	20	20
4	8	<b>Раздел 4. Явления неограниченной кумуляции.</b> Кумулятивный эффект в процессах пробивания. Классификация явлений проникания. Кавитационные механизмы и кавитационная эрозия.	7	4	2	2	3	20	20
4	8	<b>Раздел 5. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях.</b> Обзор явлений, моделей и перспектив.	20	6	2	4	14	20	20
Всего за 8 семестр			108	39	13	26	69	100	100
Всего по дисциплине			108	39	13	26	69	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Газовые смеси. Процессы переноса.	- Газовые смеси в состоянии равновесия. - Термодинамические характеристики смеси. Константа равновесия. - Механизм реакции. Цепные реакции. - Модель параметра индукции. Кинетика горения метана.	8
2	Раздел 2. Подвод энергии в поток газа. Газовая детонация.	- Фронт реакции и зона реакции. Структура детонационной волны. Детонационная адиабата. - Математическое моделирование процессов горения и детонации в газовых и многофазных смесях. - Применение детонационных процессов в технике.	6
3	Раздел 3. Детонация конденсированных взрывчатых веществ.	- Детонация конденсированных ВВ. Метательное действие взрыва. - ВВ и их применение. - Подводный взрыв. Пульсации газового пузыря.	6
4	Раздел 4. Явления неограниченной кумуляции.	- Гидродинамическая модель проникания.	2
5	Раздел 5. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях.	- Воздействие лазерного излучения на материалы. - Внутренняя баллистика ствольной системы	4
<b>Всего за 8 семестр</b>			26

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

№ п/п	Номер и наименование	Содержание учебного задания	Объем, часов
-------	----------------------	-----------------------------	--------------

раздела дисциплины			
1	Раздел 1. Газовые смеси. Процессы переноса.	Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №1 на тему «Горение предварительно перемешанных газовых смесей».	6
2		Выполнение практического задания №1	10
3	Раздел 2. Подвод энергии в поток газа. Газовая детонация.	Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №2 на тему «Математическое моделирование процессов детонации в газовых смесях».	6
4		Выполнение практического задания №2	12
5	Раздел 3. Детонация конденсированных взрывчатых веществ.	Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №3 на тему «Детонация конденсированных ВВ и метание тел продуктами детонации».	8
6		Выполнение практического задания №3	10
7	Раздел 4. Явления неограниченной кумуляции.	Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям.	3
8	Раздел 5. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях.	Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №4 на тему «Внутренняя баллистика ствольной системы».	4
9		Выполнение практического задания №4	10
Всего за 8 семестр			69

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8			Отч. по ПЗ		Отч. по ПЗ	ДР		Отч. по ПЗ		ДР	КВ	Отч. по ПЗ	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- КВ – контрольные вопросы;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- контрольные вопросы.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. . Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
2. В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
3. В. Ф. Захаренков. . Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 39 экз.
4. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование высокоинтенсивных процессов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
5. П. П. Кукин, В. В. Юшин, С. Г. Емельянов. Теория горения и взрыва. Москва: Юрайт, 2019, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
3. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
4. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
5. <https://repository.library.voenmeh.ru/jspui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
6. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — 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. Matlab 2015a SP1.

### 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. Проектор;
2. Matlab 2015a SP1.

### **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 **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика*. 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-2.1 Способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов аэрогидрогазодинамики и теплообмена;

ПСК-2.4 Способность проводить исследования по аэрогидрогазодинамике и процессам теплообмена с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изложением теоретических основ и навыков моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов в аэрокосмической технике, протекающих в условиях высокой интенсивности и взаимовлияния факторов различной физической природы.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- контрольные вопросы.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**13 ч.**), практические занятия (**26 ч.**), самостоятельная работа студента (**69 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 39 ч. аудиторных занятий, и 69 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.
Раздел 1. Газовые смеси. Процессы переноса.		
Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №1 на тему «Горение предварительно перемешанных газовых смесей».	В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1) П. П. Кукин, В. В. Юшин, С. Г. Емельянов. Теория горения и взрыва: Москва: Юрайт, 2019 (1, 2) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование высокоинтенсивных процессов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1)	6
Выполнение практического задания №1		10
Итого по разделу 1		16
Раздел 2. Подвод энергии в поток газа. Газовая детонация.		
Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №2 на тему «Математическое моделирование процессов детонации в газовых смесях».	В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1)	6
Выполнение практического задания №2		12
Итого по разделу 2		18
Раздел 3. Детонация конденсированных взрывчатых веществ.		
Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №3 на тему «Детонация конденсированных ВВ и метание тел продуктами детонации».	П. П. Кукин, В. В. Юшин, С. Г. Емельянов. Теория горения и взрыва: Москва: Юрайт, 2019 (2-3) В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. . Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы: Москва: Юрайт, 2020 (2-3) В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (7.1 - 7.4)	8
Выполнение практического задания №3		10
Итого по разделу 3		18
Раздел 4. Явления неограниченной кумуляции.		
Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям.	В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов:	3

	СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (10)	
Итого по разделу 4		3
<b>Раздел 5. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях.</b>		
Изучение студентами теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение практического задания №4 на тему «Внутренняя баллистика ствольной системы».	В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Моделирование высокоинтенсивных процессов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (12 - 13) В. Ф. Захаренков. . Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1 - 3)	4
Выполнение практического задания №4		10
Итого по разделу 5		14

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- контрольные вопросы;
- дифференцированный зачет.

### 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.

#### Отчет по практическому заданию

Отчет по практическому заданию (ПЗ)

Отчет по ПЗ представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по ПЗ.

Отчет по ПЗ должен содержать:

- постановку задачи, математическую модель и основные расчетные соотношения используемых методов решения;
- схему расчетной области с характеристиками сетки, краевыми и начальными условиями, реализованными в решаемом варианте;
- графическое представление полученных результатов;
- содержание исследовательского задания, результаты вычислительного моделирования, анализ и выводы по проведенным исследованиям.

#### Защита ПЗ

Защита ПЗ проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Процедура защиты включает ответы на вопросы преподавателя по работе и разделу курса. В ходе защиты ПЗ обучающиеся должны продемонстрировать знания, умения и навыки:

- культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала,
- понимание постановки задачи, знание основных элементов математической модели, формулировка начальных и граничных условий, обоснование основных упрощающих положений;
- умение определить место исследованного явления в конкретных технических процессах и устройствах;
- умение анализировать полученные результаты и умение прогнозировать характер процессов в технических устройствах на основании полученных данных;
- умение самостоятельно модифицировать математические модели и программные средства для целей конкретизации или расширения области приложения моделей, использованных в работе.

Оценка защиты работы выставляется по 100 балльной шкале с учётом:

- выполнение ПЗ – 40 баллов,
- оформление пояснительной записки – 20 баллов,
- защита результатов, ответы на вопросы и их логика, культура речи – 40 баллов.

ПЗ считается принятой при наборе более 80 баллов.

Перечень практических заданий приведен в УМК дисциплины.

### Контрольные вопросы

Критерии оценивания ответов на контрольные вопросы.

Ответы на контрольные вопросы по определенным разделам дисциплины осуществляются в устной форме. Студенту задаются 3 вопроса в рамках изучаемого раздела, для успешной аттестации необходимо правильно ответить на 2 и выше вопросов. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

Список контрольных вопросов:

1. Общая характеристика процессов, протекающих при высоких концентрациях вещества, энергии, в короткие промежутки времени и при взаимовлиянии факторов различной физической природы.
2. Обзор моделей среды и процессов.
3. Современное состояние средств и методов математического и физического моделирования.
4. Место высокоинтенсивных процессов в современных технологиях.
5. Математические модели в кинетике.
6. Газовые смеси.
7. Параметры и явления переноса.
8. Термодинамика высокоинтенсивного переноса. Кинетика горения. Цепные реакции.
9. Математические модели кинетических процессов.
10. Жесткие системы дифференциальных уравнений, как модели кинетических процессов.
11. Быстрые и медленные переменные.
12. Методы интегрирования жестких систем.
13. Подвод энергии в поток газа.
14. Дефлаграция и детонация.
15. Сверхзвуковое горение.
16. Газовая детонация.
17. Гидродинамическая теория детонации. Условие Жуге.
18. Горение конденсированных систем.
19. Горение порохов и ВВ.
20. Математические модели детонационных процессов.
21. Численное моделирование детонации.
22. Импульсные модели действия взрыва.
23. Работа взрыва на выброс.
24. Подводный и подземный взрывы.
25. Взрыв в воздухе.
26. Явления неограниченной кумуляции.
27. Кумулятивный эффект в процессах пробивания.
28. Классификация явлений проникания.
29. Кавитационные механизмы и кавитационная эрозия.
30. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях. Обзор явлений, моделей и перспектив.

### **Дифференцированный зачет**

Дифференцированный зачет, включает в себя два теоретических вопроса по выбору преподавателя из списка вопросов по разделам дисциплины. Перечень вопросов для дифференцированного зачета приведен в УМК дисциплины.

Знания, умения и навыки студентов определяются следующим образом:

Оценки «зачтено-отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала.

Оценки «зачтено-хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценки «зачтено-удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

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-2.1	ПСК-2.4	
4	8	Раздел 1. Газовые смеси. Процессы переноса.	28	12	4	8	16	20	20	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 2. Подвод энергии в поток газа. Газовая детонация.	27	9	3	6	18	20	20	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 3. Детонация конденсированных взрывчатых веществ.	26	8	2	6	18	20	20	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 4. Явления неограниченной кумуляции.	7	4	2	2	3	20	20	Контрольные вопросы
4	8	Раздел 5. Высокоинтенсивные процессы в современных технологиях.	20	6	2	4	14	20	20	Отчет по практическому заданию
Всего за 8 семестр			108	39	13	26	69	100	100	
Всего по дисциплине			108	39	13	26	69	100	100	

## Критерии оценивания

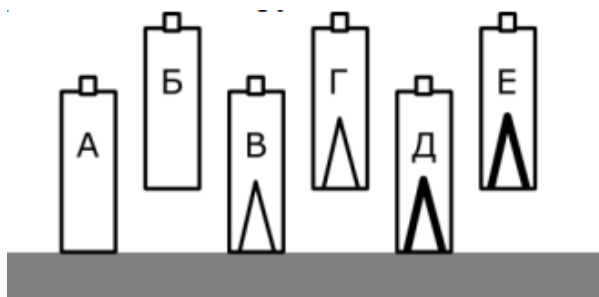
### ПСК-2.1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Вещества, в присутствии которых скорость химической реакции уменьшается или реакция прекращается называются
- № 2 Вещества, которые увеличивают скорость реакции, но сохраняют свои свойства и концентрацию неизменными, называются
- № 3 Реакция, идущая под влиянием другой реакции, протекающей одновременно и в том же участке пространства, называется
- № 4 Верно ли утверждение, что размер детонационной ячейки не зависит от размера и формы канала, в котором производится детонация, и является характеристикой самой горючей смеси. Этот параметр изменяется в широком диапазоне в зависимости от состава смеси.
- № 5 Верно ли утверждение, что в стехиометрической смеси температура во фронте детонации максимальна, и ей соответствует минимальная длина ячейки.
- № 6 Верно ли утверждение, что на рисунке представлен реакционный путь экзотермической реакции?



- № 7 Верно ли утверждение, что реакция распада азометана  $C_2H_6N_2 \rightarrow C_2H_6 + N_2$  является бимолекулярной?
- № 8 В каком случае пробивное действие (кумулятивный эффект) зарядов различной конструкции максимально?



- № 9 Верно ли утверждение, что чем выше температура смеси, тем больше скорость химических реакций в ней?
- № 10 Верно ли утверждение, что в состоянии локального термодинамического и химического равновесия скорость прямой химической реакции равна скорости обратной реакции?

Вопросы закрытого типа:

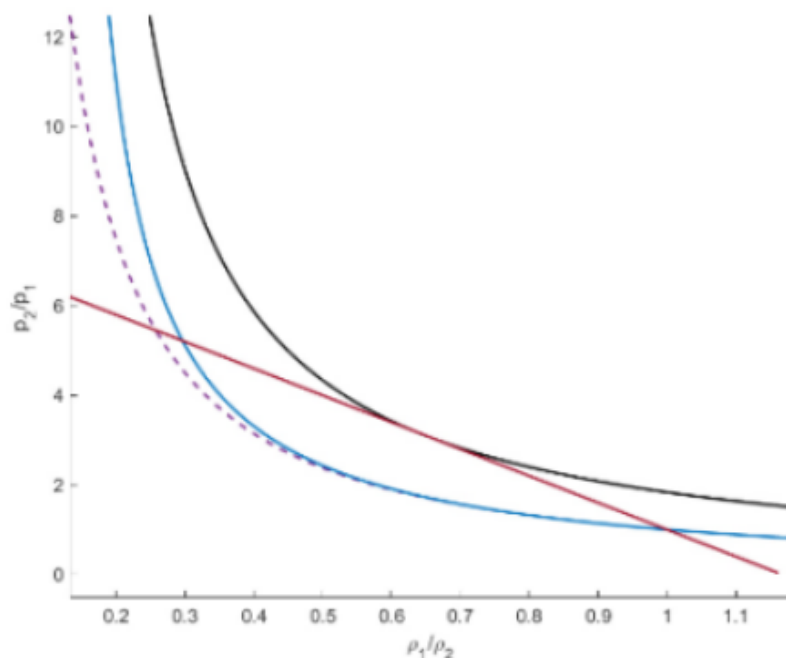
- № 1 Детонация это

- процесс, характеризующийся протеканием экзотермической реакции в условиях прогрессивного самоускорения, обусловленного накоплением выделяющегося в ходе реакции тепла, приводящее к резкому повышению температуры системы

- процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений, а энергия активации подается в зону реакции за счет механизма теплопроводности



- режим горения, в котором по веществу распространяется ударная волна, инициирующая химические реакции горения, в свою очередь, поддерживающие движение ударной волны за счёт выделяющегося в экзотермических реакциях тепла, где фронт пламени распространяется со скоростью звука относительно продуктов реакции и со сверхзвуковой скоростью относительно исходного вещества
- № 2 Как называется детонация, фронт ударной волны которой движется относительно остающихся за ним продуктов сгорания со скоростью в точности равной местной скорости звука
- детонация Чепмена - Жуге
  - сверхсжатая детонация
  - недосжатая детонация
  - спиновая детонация
- № 3 Какое утверждение верно. На диаграмме, на которой на оси абсцисс отложены отношение  $\rho_1/\rho_2$ , а на оси ординат отношение  $p_2/p_1$
- детонационная адиабата всегда расположена под ударной адиабатой
  - детонационная адиабата пересекает ударную адиабату в точке Чепмена-Жуге
  - детонационная адиабата всегда расположена над ударной адиабатой
  - в зависимости от условий возможны все варианты
- № 4 В зависимости от скорости взрывчатого превращения различают следующие его формы:
- горение, обыкновенный взрыв, детонация
  - медленное сгорание, обыкновенный взрыв, детонация
  - быстрое сгорание, обыкновенный взрыв, детонация
  - быстрое сгорание, сильный взрыв, детонация
- № 5 Иницирующими называются такие взрывчатые вещества
- которые обладают весьма высокой чувствительностью и взрываются от незначительного внешнего механического (удар, трение) или теплового (луч лазера, пламя, нагрев, электрический ток) воздействия;
  - которые обладают весьма высокой чувствительностью и взрываются от незначительного внешнего механического (удар, трение) воздействия;
  - которые обладают весьма высокой чувствительностью и взрываются от незначительного теплового (луч лазера, пламя, нагрев, электрический ток) воздействия;
  - которые обладают весьма высокой чувствительностью и взрываются от незначительного внешнего механического (удар, трение) или температурного воздействия
- № 6 Ударную волну какой интенсивности необходимо инициировать, чтобы произвести детонационную волну соответствующую данному случаю:



- 6,2

- 5,2

- 3

- 12

№ 7 Дефлаграция это

- процесс, характеризующийся протеканием экзотермической реакции в условиях прогрессивного самоускорения, обусловленного накоплением выделяющегося в ходе реакции тепла, приводящее к резкому повышению температуры системы

- процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений, а энергия активации подается в зону реакции за счет механизма теплопроводности

- режим горения, в котором по веществу распространяется ударная волна, инициирующая химические реакции горения, в свою очередь, поддерживающие движение ударной волны за счёт выделяющегося в экзотермических реакциях тепла, где фронт пламени распространяется со скоростью звука относительно продуктов реакции и со сверхзвуковой скоростью относительно исходного вещества

- процесс перехода от ламинарного горения к турбулентному распространению пламени  
Закон Аррениуса определяет

№ 8

- зависимость скорости химической реакции от давления газовой смеси

- зависимость скорости химической реакции от температуры газовой смеси

- зависимость теплового эффекта реакции от давления газовой смеси

- зависимость теплового эффекта реакции от температуры газовой смеси

№ 9

В основе химической кинетики лежит закон действующих масс, согласно которому

- скорость реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ

- тепловой эффект сложной реакции не зависит от промежуточных стадий или их последовательности, а полностью определяется начальным и конечным состоянием системы

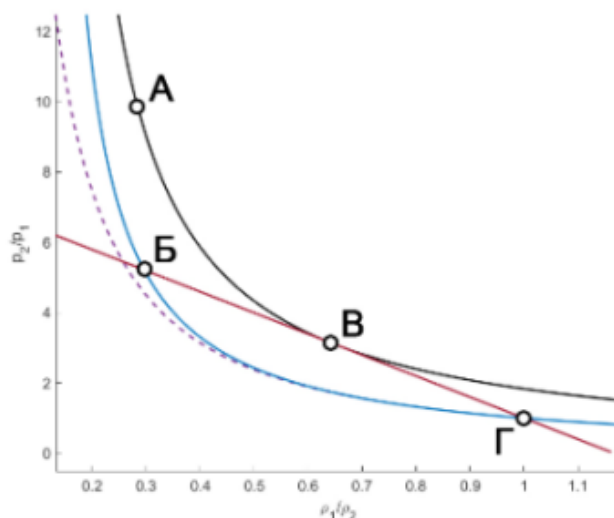
- устанавливается связь между константой скорости химической реакции  $k$  от температуры  $T$

- тепловой эффект реакции образования сложного вещества из простых равен по абсолютному значению, но противоположен по знаку тепловому эффекту реакции разложения данного соединения на простые вещества
- № 10 Оцените порядок скорости распространения детонационной волны в взрывчатом веществе?
- 0,1 ... 1 м/с
  - 1 ... 10 м/с
  - 10 ... 2000 м/с
  - 2000 .... 15000 м/с

#### ПСК-2.4

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Нарисуйте график изменения энтальпии в ходе экзотермической реакции
- № 2 Верно ли утверждение, что в точке Чепмена - Жуге угол наклона прямой Релея - Михельсона, а значит и скорость детонации, имеет наибольшее из всех возможных значение?
- № 3 Верно ли утверждение, что во фронте детонационной волны в газе при выделении тепла происходит расширение продуктов реакции, вследствие чего давление непосредственно позади зоны химического превращения почти в два раза меньше, чем в исходном веществе при сжатии его ударной волной?
- № 4 Запишите кубическое уравнение состояния, которое используется при моделировании движения продуктов детонации конденсированных ВВ в области высоких давлений.
- № 5 Точка на плоскости давление – удельный объем соответствующая условию Чепмена - Жуге



- № 6 Напишите уравнение изменения концентрации  $c(\text{CH}_3)$  для представленного кинетического механизма:
- 1)  $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3 + \text{HO}_2$ ,
  - 2)  $\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{O}_2$ ,
  - 3)  $\text{CH}_3\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{OH}$ ,
  - 4)  $\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ,
  - 5)  $\text{CH}_2\text{O} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HCO}$
- № 7 Химическая реакция или ядерная реакция, сопровождающаяся выделением теплоты называется
- № 8 Химическая реакция, сопровождающаяся поглощением тепла, называется
- № 9 Верно ли утверждение, что коэффициент полезного действия цикл Хамфри (горение при постоянном объеме) выше, чем у цикла Брайтона (горение при постоянном давлении)?

- № 10 В точке Чепмена-Жуге скорость продуктов превращения относительно скачка равна ...  
Вопросы закрытого типа:
- № 1 Простейшая модель детонационного горения, учитывающая протяженность зоны химических реакций за ударной волной, называется
- модель Чепмена - Жуге
  - модель Зельдовича - Неймана – Дёринга
  - гидродинамическая модель
  - модель экзотермического скачка
- № 2 Согласно закону Гессе
- скорость реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ
  - тепловой эффект сложной реакции не зависит от промежуточных стадий или их последовательности, а полностью определяется начальным и конечным состоянием системы
  - устанавливается связь между константой скорости химической реакции  $k$  от температуры  $T$
  - тепловой эффект реакции образования сложного вещества из простых равен по абсолютному значению, но противоположен по знаку тепловому эффекту реакции разложения данного соединения на простые вещества
- № 3 Когда ВВ имеет положительный кислородный баланс
- Кислорода в окружающей ВВ среде достаточно для полного окисления всех горючих элементов
  - Кислорода в окружающей ВВ среде не хватает для полного окисления всех горючих элементов
  - Кислород находится в составе ВВ в избытке
  - Кислород находится в составе ВВ в недостатке
- № 4 Детонационная адиабата это
- $$\omega_j = k_j^- \prod_{i=1}^N p_i^{\nu'_{ij}} \left[ K_{pj}(T) - \prod_{i=1}^N p_i^{\nu''_{ij} - \nu'_{ij}} \right]$$
- $$k_j^+ = A_j^+ T^{n_j^+} \exp(-E_j^+ / RT)$$
- $$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} - \frac{\rho_1}{\rho_2} + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{q}{c_p T_1}}{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}$$
- $$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \gamma M_1^2 \left( 1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)$$
- № 5 Закон Аррениуса это

$$\omega_j = k_j^- \prod_{i=1}^N p_i^{\nu'_{ij}} \left[ K_{pj}(T) - \prod_{i=1}^N p_i^{\nu''_{ij} - \nu'_{ij}} \right]$$

$$k_j^+ = A_j^+ T^{n_j^+} \exp(-E_j^+ / RT)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} - \frac{\rho_1}{\rho_2} + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{q}{c_p T_1}}{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \gamma M_1^2 \left( 1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)$$

№ 6 Закон действующих масс это

$$\omega_j = k_j^- \prod_{i=1}^N p_i^{\nu'_{ij}} \left[ K_{pj}(T) - \prod_{i=1}^N p_i^{\nu''_{ij} - \nu'_{ij}} \right]$$

$$k_j^+ = A_j^+ T^{n_j^+} \exp(-E_j^+ / RT)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} - \frac{\rho_1}{\rho_2} + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{q}{c_p T_1}}{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \gamma M_1^2 \left( 1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)$$

№ 7 Уравнение прямой Рэля - Михельсона это

$$\omega_j = k_j^- \prod_{i=1}^N p_i^{\nu'_{ij}} \left[ K_{pj}(T) - \prod_{i=1}^N p_i^{\nu''_{ij} - \nu'_{ij}} \right]$$

$$k_j^+ = A_j^+ T^{n_j^+} \exp(-E_j^+ / RT)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} - \frac{\rho_1}{\rho_2} + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{q}{c_p T_1}}{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \gamma M_1^2 \left( 1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)$$

- № 8 При изучении процесса горения пороха зависимость скорости горения пороха от давления может быть определена с помощью аналитических зависимостей. Большую популярность получил так называемый степенной закон скорости горения, который записывается как:

$$u = a \bar{p}^v$$

$$u = a + bp$$

$$u = ap$$

$$u = ae^{pb}$$

- № 9 Тротиловый эквивалент – это:

- величина, которая показывает, сколько килограммов пороха необходимо взорвать, чтобы получить такую же фугасность, как у одного килограмма исследуемого взрывчатого вещества;

- величина, которая показывает, сколько килограммов тротила необходимо взорвать, чтобы получить такую же фугасность, как у одного килограмма исследуемого взрывчатого вещества;

- величина, которая показывает, сколько граммов тротила необходимо взорвать, чтобы получить такую же фугасность, как у одного грамма исследуемого взрывчатого вещества;

- величина, которая показывает, сколько граммов тротила необходимо взорвать, чтобы получить такую же фугасность, как у одного килограмма исследуемого взрывчатого вещества.

- № 10 Условие Чепмена - Жуге можно сформулировать как

- Детонационная волна движется относительно продуктов реакции со скоростью, равной скорости звука. Скорость распространения волны относительно исходного вещества всегда является сверхзвуковой

- Детонационная волна движется относительно продуктов реакции со сверхзвуковой скоростью. Скорость распространения волны относительно исходного вещества является звуковой

- Детонационная волна движется относительно продуктов реакции с дозвуковой скоростью. Скорость распространения волны относительно исходного вещества всегда является звуковой
- Детонационная волна движется относительно продуктов реакции со скоростью, равной скорости звука. Скорость распространения волны относительно исходного вещества всегда является дозвуковой