

**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

\_\_\_\_\_  
Суслин А. В.  
(подпись) ФИО  
«31» 05 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

Направление/специальность подготовки 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели

Специализация/профиль/программа подготовки ☒ Боеприпасы  
Информационные технологии проектирования боеприпасов и взрывателей

Уровень высшего образования Специалитет

Форма обучения Очная

Факультет Е Оружие и системы вооружения

Выпускающая кафедра ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ

Кафедра-разработчик рабочей программы ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
				АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА					
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ		
3	6	4	144	68	34	0	34	76	0	18	58	диф. зач.	
4	7	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	диф. зач.	
4	8	4	144	68	34	34	0	76	0	18	58	экз.	
ВСЕГО		11	396	204	102	34	68	192	0	36	156		

Санкт-Петербург  
2022г.

11271

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**17.05.01 Боеприпасы и взрыватели**

год набора группы: 2022

Программу составили:

Кафедра ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ  
Кэрт Борис Эвальдович, д.т.н., заведующий кафедрой

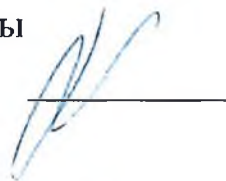


Кафедра ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ  
Павлов Ярослав Олегович, старший преподаватель



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ**

Заведующий кафедрой Кэрт Б.Э., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ**

Заведующий кафедрой Кэрт Б.Э., д.т.н., проф.



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ**

### **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:

17.05.01 (ЕЗ)	ПСК-20 — способность осуществлять профессиональную деятельность и применять методы математического моделирования боевой эффективности, надежности, баллистики, аэродинамики, взрыва, высокоскоростного удара, кумуляции, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций боеприпасов, а также сопутствующих взрывных технологий и технологий двойного назначения
17.05.01 (ЕЗ)	ПСК-26 — способность осуществлять профессиональную деятельность и применять методы математического моделирования боевой эффективности, надежности, баллистики, аэродинамики, взрыва, высокоскоростного удара, кумуляции, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций боеприпасов, а также сопутствующих взрывных технологий и технологий двойного назначения

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПСК-20 (17.05.01, ЕЗ)**

знания:

на уровне представлений:

- физико – механические принципы составления математических моделей движения АС и Р по траектории, приближенно–аналитические и численные методы расчета баллистических элементов движения снарядов и ракет, включая необходимые численные методы интегрирования систем дифференциальных уравнений движения, методы расчета траекторий снарядов и ракет, расчета аэродинамических характеристик вращающихся и оперенных снарядов и ракет, прогнозирования кучности и точности стрельбы, траекторных измерений;

- методы расчета аэродинамических характеристик АС и Р;

- математические модели, описывающие функционирование АО и РДТТ и методы решения баллистических задач; программное обеспечение решения задач аэродинамики и внешней баллистики АС и Р и внутренней баллистики АО и РДТТ.

на уровне воспроизведения:

- основные системы координат, используемые для описания движения ЛА;

- основные законы механики и аэродинамики, положенные в основу изучаемых методов аэродинамики, внешней и внутренней баллистики;

- функционирование АО и РДТТ, периоды функционирования и характерные параметры для них;

- силы и моменты, действующие на ЛА при движении в стволе (ПУ) и на траектории;

на уровне понимания:

- условия, обеспечивающие устойчивость правильность движения снарядов и ракет по траектории;

- характеристики современных АО и РДТТ и перспективные пути их совершенствования;

- основы внутренней баллистики АО и РДТТ;

умения:

теоретические:

- строить физические и математические модели обтекания АС и Р;

- пользоваться справочными материалами и пакетами прикладных программ при проведении расчетов;

- получать исходную информацию для проектирования снарядов и боевых частей ракет на основе анализа решений задач внешней и внутренней баллистики.

практические:

- определять на основе построенных моделей аэродинамические характеристики АС и Р;

- разрабатывать математические модели, алгоритмы и программы расчетов характеристик движения АС и Р;

- формировать требования к конструкции АР, АО, Р, ПУ, обеспечивающие устойчивость и правильность движения по траектории;

- решать задачи внутренней баллистики АО и РДТТ;

навыки:

- использование полученных знаний по аэродинамике, внешней и внутренней баллистике в своей профессиональной деятельности;

- производить численное решение задач аэродинамики и внешней баллистики боеприпасов и внутренней баллистики АО и РДТТ;

- использовать типовое программного обеспечения решения этих задач;

- владеть методами получения рациональных баллистических решений АС и Р, АО и ПУ ракет с РДТТ с точки зрения обеспечения требуемых значений основных проектных параметров.

## **ПСК-26 (17.05.01, ЕЗ)**

знания:

на уровне представлений:

- физико – механические принципы составления математических моделей движения АС и Р по траектории, приближенно–аналитические и численные методы расчета баллистических элементов движения снарядов и ракет, включая необходимые численные методы интегрирования систем дифференциальных уравнений движения, методы расчета траекторий снарядов и ракет, расчета аэродинамических характеристик вращающихся и оперенных снарядов и ракет, прогнозирования кучности и точности стрельбы, траекторных измерений;

- методы расчета аэродинамических характеристик АС и Р;

- математические модели, описывающие функционирование АО и РДТТ и методы решения баллистических задач; программное обеспечение решения задач аэродинамики и внешней баллистики АС и Р и внутренней баллистики АО и РДТТ.

на уровне воспроизведения:

- основные системы координат, используемые для описания движения ЛА;

- основные законы механики и аэродинамики, положенные в основу изучаемых методов аэродинамики, внешней и внутренней баллистики;

- функционирование АО и РДТТ, периоды функционирования и характерные параметры для них;

- силы и моменты, действующие на ЛА при движении в стволе (ПУ) и на траектории;

на уровне понимания:

- условия, обеспечивающие устойчивость и правильность движения снарядов и ракет по траектории;

- характеристики современных АО и РДТТ и перспективные пути их совершенствования;

- основы внутренней баллистики АО и РДТТ;

умения:

теоретические:

- строить физические и математические модели обтекания АС и Р;

- пользоваться справочными материалами и пакетами прикладных программ при проведении расчетов;

- получать исходную информацию для проектирования снарядов и боевых частей ракет на основе анализа решений задач внешней и внутренней баллистики.

практические:

- определять на основе построенных моделей аэродинамические характеристики АС и Р;

- разрабатывать математические модели, алгоритмы и программы расчетов характеристик движения АС и Р;

- формировать требования к конструкции АР, АО, Р, ПУ, обеспечивающие устойчивость и правильность движения по траектории;

- решать задачи внутренней баллистики АО и РДТТ;

навыки:

- использование полученных знаний по аэродинамике, внешней и внутренней баллистике в своей профессиональной деятельности;

- производить численное решение задач аэродинамики и внешней баллистики боеприпасов и внутренней баллистики АО и РДТТ;

- использовать типовое программного обеспечения решения этих задач;

- владеть методами получения рациональных баллистических решений АС и Р, АО и ПУ ракет с РДТТ с точки зрения обеспечения требуемых значений основных проектных параметров.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **БОЕВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО, РАКЕТНОГО И БОМБОВОГО ВООРУЖЕНИЯ, НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ БОЕПРИПАСОВ И ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГАЗОДИНАМИКА.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен понимать цели и задачи инженерной деятельности в современной науке и производстве
- ОПК-2 — Способен самостоятельно применять приобретенные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения инженерных задач
- ОПК-6 — Способен использовать в инженерной деятельности методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации с использованием современных информационных технологий
- ОПК-7 — Способен анализировать текущее состояние и тенденции развития оружия и систем вооружения
- ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 11 з.е., 396 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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-20 (17.05.01)	ПСК-26 (17.05.01)
3	6	<b>Раздел 1. Общие сведения о явлении выстрела. Горение порохового заряда.</b> 1.1. Содержание внутренней баллистики. 1.2. Явление выстрела. 1.3. Пиродинамические кривые. 1.4. Характеристики порохового заряда. 1.5. Механизм горения пороха. 1.6. Закон скорости горения пороха.	18	8	4	0	4	10	4	4
3	6	<b>Раздел 2. Образование пороховых газов. Давление пороховых газов в постоянном объеме.</b> 2.1. Приход пороховых газов. 2.2. Закон образования пороховых газов. 2.3. Коэффициент прогрессивности пороха. Давление пороховых газов в постоянном объеме. 2.4. Текущее давление пороховых газов. 2.5. Полное пиростатическое давление. 2.6. Зависимость давления от времени.	18	8	4	0	4	10	4	4
3	6	<b>Раздел 3. Предварительный период явления выстрела. Врезание ведущих поясков в нарезы.</b> 3.1. Особенности предварительного периода. 3.2. Воспламенение порохового заряда. 3.3. Расчет предварительного периода. 3.4. Особенности процесса врезания. 3.5. Контактные напряжения ведущего пояска. 3.6. Сила сопротивления врезанию.	18	8	4	0	4	10	6	6
3	6	<b>Раздел 4. Поступательное движение продуктов горения. Движение снаряда в канале ствола.</b> 4.1. Основные допущения. 4.2. Распределение скоростей продуктов горения. 4.3. Распределение давлений продуктов горения. 4.4. Баллистическое давление пороховых газов. 4.5. Уравнение поступательного движения. 4.6. Уравнение вращательного движения. 4.7. Нормальная реакция боевой грани нарезки. 4.8. Коэффициент фиктивности.	22	12	6	0	6	10	6	6
3	6	<b>Раздел 5. Расширение пороховых газов. Давление форсирования.</b> 5.1. Основное уравнение пиродинамики. 5.2. Работы совершаемые пороховыми газами. 5.3. Предельная скорость снаряда. 5.4. Физическая модель явления выстрела. 5.5. Способы учета периода форсирования.	24	12	6	0	6	12	5	5
3	6	<b>Раздел 6. Основная задача внутренней баллистики. Аналитический метод профессора Слухоцкого.</b> 6.1. Система уравнений при аргументе t. 6.2. Решение уравнений во втором периоде. 6.3. Система уравнений при аргументе z. 6.4. Интегрирование системы уравнений в первом периоде.	24	12	6	0	6	12	5	5
3	6	<b>Раздел 7. Внутренняя баллистика реактивного двигателя на твердом топливе. Давление пороховых газов в камере РДТТ.</b> 7.1. Принцип реактивного движения. 7.2. Основные процессы в РДТТ. 7.3. Система уравнений внутренней баллистики РДТТ. 7.4. Равновесное давление пороховых газов. 7.5. Расчет давления пороховых газов в основном периоде.	20	8	4	0	4	12	4	4
Всего за 6 семестр			144	68	34	0	34	76	34	34
4	7	<b>Раздел 8. Предмет и метод внешней баллистики. Физико-механические основы моделирования движения снаряда в атмосфере Земли.</b> 1.1. Предмет, задачи и структура курса внешней баллистики. Основные понятия и обозначения. Инерциальные и неинерциальные, гелиоцентрическая и геоцентрическая системы отсчета. 1.2. Решение задач динамики точки в системе отсчета, связанной с Землей. Уско-рение Кориолиса, сила земного притяжения, сила тяжести. 1.3. Учет зависимости ускорения силы тяжести от широты и высоты, влияние изменения направления силы тяжести на полет снаряда. Параболическая тео-рия. 1.4. Стандарты атмосферы в баллистике. Нормальная артиллерийская атмосфера. Условие вертикального равновесия. 1.5. Распределение плотности и темпера-туры по высоте. Стандартная атмосфера СА81. 1.6. Физические основы сопротивления воздуха движению снаряда. Вязкость и сжимаемость. Обтекание тела стационарным потоком идеальной несжимаемой жидкости (газа). Уравнение Бернулли. Парадокс Д'Аламбера. 1.7. Обтекание тела стационарным потоком вязкой жидкости (газа). Погранич-ный слой. Число Рейнольдса. Ламинар-ный и турбулентный режимы течения. Отрыв пограничного слоя. Вихревое сопротивление, сопротивление трения. 1.8. Влияние сжимаемости воздуха на аэродинамическое сопротивление. Фор-мулы изохронического торможения. 1.9. Ударные волны. Изменение параметров потока при прохождении прямого и косого скачка уплотнения. Волновое сопротивление. Присоединенная и ото-шедшая головная ударная волна. Оптимальная форма снаряда. 1.10. Анализ экспериментальных картин обтекания снарядов в атмосфере.	32	20	20	0	0	12	10	10
4	7	<b>Раздел 9. Дополнительные элементы кинематики твердого тела, используемые во внешней баллистике.</b> 2.1. Преобразование вектора при повороте системы координат. Матрица направляющих косинусов (матрица перехода). Задание углового положения твердого тела с помощью направляющих косинусов. 2.2. Стартовая и связанная системы координат. Ориентация связанной системы координат относительно стартовой с помощью навигационных углов : рыскания,	32	20	0	0	20	12	10	10



		тангажа , крена . Матрица перехода. 2.3. Полускоростная и скоростная системы координат. Их ориентация в стартовой системе координат с помощью углов: рыскания скоростной с/к , возвышения , крена скоростной с/к . Матрицы перехода . 2.4. Ориентация вектора скорости в связанной системе координат. Углы атаки и скольжения . Матрица перехода от связанной с/к к скоростной . 2.5. Задание положения связанной системы координат относительно полускоростной (траекторной) с помощью углов Эйлера: прецессии , нутации , ротации. Матрица перехода от полускоростной с/к к связанной . 2.6. Задание положения связанной системы координат относительно полускоростной (траекторной) с помощью углов Де-Спарра. Матрица перехода от полускоростной с/к к связанной . 2.7. Уравнения для производных направляющих косинусов связанной с/к в стартовой (уравнения Пуассона). 2.8. Выражения производных углов Эйлера через проекции угловой скорости на оси связанной с/к. Выражения производных углов Де-Спарра через проекции угловой скорости на оси связанной с/к. 2.9. Выражения производных навигационных углов через проекции угловой скорости на оси связанной с/к. 2.10. Угловая скорость полускоростной с/к относительно стартовой в проекциях на оси связанной с/к. Угловая скорость снаряда относительно стартовой с/к в проекциях на оси связанной с/к.								
4	7	<b>Раздел 10. Прикладная внешняя баллистика артиллерийского снаряда.</b> 3.1. Стартовая Земная система координат. Общая задача пространственного движения снаряда в атмосфере. Главный вектор и главный момент сил аэродинамического сопротивления. Основная задача внешней баллистики (ОЗВБ). Основные допущения. 3.2. Лобовое сопротивление артиллерийского снаряда. Коэффициент лобового сопротивления. Коэффициент формы. Баллистический коэффициент. Баллистические функции сопротивления Приведенная скорость функции сопротивления от приведенной скорости . Законы сопротивления воздуха. 3.3. Системы уравнений ОЗВБ с аргументами $t, x, \theta$ . Численные методы решения ОЗВБ. Таблицы внешней баллистики. 3.4. Уравнение годографа скорости. Приближенно-аналитические методы решения ОЗВБ. Метод Эйлера. 3.5. Метод Сиаичи. Основные функции Сиаичи. Определение параметров в вершине траектории и в точке падения.	36	24	10	0	14	12	10	10
4	7	<b>Раздел 11. Баллистическая форма представления сил и моментов, действующих на снаряд – тело вращения на траектории.</b> 4.1. Силы и моменты, зависящие от углового положения снаряда на траектории (сила лобового сопротивления, нормальная сила, опрокидывающий момент). 4.2. Силы и моменты, зависящие от вращательного движения снаряда (сила Магнуса, осевой и экваториальный тушащий моменты, момент Магнуса).	8	4	4	0	0	4	3	3
<b>Всего за 7 семестр</b>			108	68	34	0	34	40	33	33
4	8	<b>Раздел 12. Вращательное движение правильно движущегося (послушного) артиллерийского снаряда.</b> 1.1. Общие понятия об устойчивости движения и стабилизации ракет и снарядов. Стабилизация вращением и стабилизация оперением. Определение устойчивости по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Устойчивость по первому приближению. Устойчивость на конечном интервале. Гироскопическая устойчивость и правильность движения снаряда по траектории. 1.2. Вращательное движение послушного артиллерийского снаряда под действием одного опрокидывающего момента при равномерном прямолинейном горизонтальном движении центра масс. Дифференциальные уравнения для углов Эйлера. Условие гироскопической устойчивости снаряда. 1.3. Коэффициент гироскопической устойчивости. Гироскопическая устойчивость и правильность полета снаряда на начальном участке траектории. Техническое условие гироскопической устойчивости. Определение длины хода нарезов из условия правильности движения на начальном участке траектории. 1.4. Вращательное движение послушного артиллерийского снаряда под действием одного опрокидывающего момента при равномерном прямолинейном горизонтальном движении центра масс. Дифференциальные уравнения для углов Де-Спарра. Псевдоос. Быстрое и медленное конические движения. 1.5. Вращательное движение послушного артиллерийского снаряда под действием одного опрокидывающего момента при прямолинейном горизонтальном но неравномерном движении центра масс и при криволинейном неравномерном движении центра масс. Динамическая ось снаряда, изменение ее положения при движении по траектории. 1.6. Динамический угол. Гироскопическая устойчивость и правильность полета снаряда на криволинейном участке и на всей траектории. Достаточное условие правильности полета в вершине траектории. Движение центра масс послушного снаряда под действием нормальной составляющей силы сопротивления воздуха. Деривация.	48	20	12	8	0	28	11	11
4	8	<b>Раздел 13. Пространственное движение снарядов и неуправляемых ракет.</b> 2.1. Аэродинамические силы и моменты, действующие на оперенный снаряд (стандартное аэродинамическое представление). 2.2. Основная задача внешней баллистики для оперенного снаряда. Вращательное (колебательное) движение оперенного снаряда относительно центра масс. Устойчивость движения оперенного снаряда. 2.3. Динамические уравнения пространственного движения снаряда постоянной и переменной массы. Реактивная сила. Расчет траектории реактивного снаряда. Уравнения поступательного движения реактивного снаряда. 2.4. Основная задача внешней баллистики снаряда переменной массы (неуправляемой ракеты). Расчет активного участка траектории. Расчет пассивных участков траектории. Особенности движения управляемых и корректируемых снарядов и ракет. 2.5. Уравнения пространственного движения снаряда постоянной или переменной массы в форме В.С. Пугачева. 2.6. Дифференциальные уравнения Эйлера-Пуассона для описания пространственного движения динамически симметричного снаряда постоянной или переменной массы.	52	24	12	12	0	28	11	11
4	8	<b>Раздел 14. Возмущенное движение снарядов и ракет. Теория поправок.</b> 3.1. Поправочные формулы внешней баллистики. Основные и дополнительные поправочные коэффициенты (баллистические производные). Методы вычисления баллистических производных. 3.2. Учет влияния ветра на полет неуправляемых ракет и снарядов. Баллистический средний ветер и баллистическое	44	24	10	14	0	20	11	11



	отклонение температуры. Приближенные поправочные формулы на постоянный продольный и боковой ветер. 3.3. Формирование начальных условий возмущенного движения ракет и снарядов. Влияние движения носителя вооружения. 3.4. Явление рассеивания снарядов. Техническое рассеивание. Рассеивание снарядов по дальности. Рассеивание снарядов по направлению. Кучность, меткость и точность стрельбы. 3.5. Прогнозирование кучности стрельбы. Испытание снарядов на кучность. Методы определения характеристик рассеивания. Определение характеристик рассеивания по результатам опытных стрельб. 3.6. Особенности движения управляемого снаряда. Управляющие силы и моменты. Уравнения движения управляемого снаряда. Наведение снаряда на цель. 3.7. Основы баллистического проектирования. Баллистический эксперимент. Баллистические основы проектирования. Баллистическое обеспечение стрельбы. Баллистические алгоритмы. Перспективы развития внешней баллистики боеприпасов.								
Всего за 8 семестр		144	68	34	34	0	76	33	33
Всего по дисциплине		396	204	102	34	68	192	100	100

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Общие сведения о явлении выстрела. Горение порохового заряда.	Общие сведения о явлении выстрела	2
2		Горение порохового заряда	2
3	Раздел 2. Образование пороховых газов. Давление пороховых газов в постоянном объеме.	Образование пороховых газов	2
4		Давление пороховых газов в постоянном объеме	2
5	Раздел 3. Предварительный период явления выстрела. Врезание ведущих поясков в нарезы.	Предварительный период явления выстрела	2
6		Врезание ведущих поясков в нарезы	2
7	Раздел 4. Поступательное движение продуктов горения. Движение снаряда в канале ствола.	Поступательное движение продуктов горения	2
8		Движение снаряда в канале ствола	2
9		Расширение пороховых газов	2
10	Раздел 5. Расширение пороховых газов. Давление форсирования.	Давление форсирования	6
11	Раздел 6. Основная задача внутренней баллистики. Аналитический метод профессора Слухоцкого.	Основная задача внутренней баллистики	6
12	Раздел 7. Внутренняя баллистика реактивного двигателя на твердом топливе. Давление пороховых газов в камере РДТТ.	Аналитический метод профессора Слухоцкого	4
<b>Всего за 6 семестр</b>			34
13	Раздел 9. Дополнительные элементы кинематики твердого тела, используемые во внешней баллистике.	Преобразование вектора при повороте системы координат. Матрица направляющих косинусов (матрица перехода). Задание углового положения твердого тела с помощью направляющих косинусов	2
14		Стартовая и связанная системы координат. Ориентация связанной системы координат относительно стартовой с помощью навигационных углов : рыскания, тангажа , крена . Матрица перехода	2
15		Полускоростная и скоростная системы координат. Их ориентация в стартовой системе координат с помощью углов: рыскания скоростной с/к , возвышения , крена скоростной с/к . Матрицы перехода	2
16		Ориентация вектора скорости в связанной системе координат. Углы атаки и скольжения . Матрица перехода от связанной с/к к скоростной	2
17		Задание положения связанной системы координат	2

		относительно полускоростной (траекторной) с помощью углов Эйлера: прецессии , нутации , ротации . Матрица перехода от полускоростной с/к к связанной	
18		Задание положения связанной системы координат относительно полускоростной (траекторной) с помощью углов Де-Спарра: Матрица перехода от полускоростной с/к к связанной	2
19		Уравнения для производных направляющих косинусов связанной с/к в стартовой (уравнения Пуассона).	2
20		Выражения производных углов Эйлера через проекции угловой скорости на оси связанной с/к. Выражения производных углов Де-Спарра через проекции угловой скорости на оси связанной с/к.	2
21		Выражения производных навигационных углов через проекции угловой скорости на оси связанной с/к.	2
22		Угловая скорость полускоростной с/к относительно стартовой в проекциях на оси связанной с/к. Угловая скорость снаряда относи-тельно стартовой с/к в проекциях на оси связанной с/к.	2
23	Раздел 10. Прикладная внешняя баллистика артиллерийского снаряда.	Анализ экспериментальных данных по особенностям процессов обтекания снарядов и ракет в атмосфере. Компьютерная презентация	2
24		Формирование данных для расчета аэродинамических характеристик и движения центра масс конкретного снаряда.	2
25		Расчет коэффициента лобового сопротивления конкретного снаряда с использованием программы «Контур»	4
26		Расчет коэффициентов формы конкретного снаряда по отношению к законам сопротивления Сиауччи и 43-го года	2
27		Решение основной задачи внешней баллистики конкретного снаряда с индивидуальным законом сопротивления в ППП «Матмех». Оформление результатов расчетов.	2
28		Дифференцированный зачет.	2
Всего за 7 семестр			34
Всего за 8 семестр			0

### 3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>0</b>
<b>Всего за 7 семестр</b>			<b>0</b>
1	Раздел 12. Вращательное движение правильно движущегося (послушного) артиллерийского снаряда.	Решение ОЗВБ с законом сопротивления Сиаучи и законом 43 года	4
2		Анализ устойчивости и правильности движения снаряда на траектории.	2
3		Расчет бокового движения правильно движущегося снаряда.	2
4	Раздел 13. Пространственное движение снарядов и неуправляемых ракет.	Расчет коэффициентов нормальной силы и опрокидывающего момента конкретного артиллерийского снаряда по программе «Контур».	6
5		Расчет пространственного движения артиллерийского снаряда	6
6	Раздел 14. Возмущенное движение снарядов и ракет. Теория поправок.	Расчет влияния отклонений массы снаряда, температуры и давления воздуха на дальность	4

		стрельбы.	
7		Учет влияния ветра на отклонение точки падения.	2
8		Решение ОЗВБ для реактивного снаряда системы залпового огня.	4
9		Защита курсовой работы	4
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>34</b>

### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общие сведения о явлении выстрела. Горение порохового заряда.	Выполнение курсовой работы	3
2		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	7
3	Раздел 2. Образование пороховых газов. Давление пороховых газов в постоянном объеме.	Выполнение курсовой работы	3
4		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	7
5	Раздел 3. Предварительный период явления выстрела. Врезание ведущих поясков в нарезы.	Выполнение курсовой работы	3
6		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	7
7	Раздел 4. Поступательное движение продуктов горения. Движение снаряда в канале ствола.	Выполнение курсовой работы	3
8		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	7
9	Раздел 5. Расширение пороховых газов. Давление форсирования.	Выполнение курсовой работы	2
10		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	10
11	Раздел 6. Основная задача внутренней баллистики. Аналитический метод профессора Слухоцкого.	Выполнение курсовой работы	2
12		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	10
13	Раздел 7. Внутренняя баллистика реактивного двигателя на твердом топливе. Давление пороховых газов в камере РДТТ.	Выполнение курсовой работы	2
14		Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	10
Всего за 6 семестр			76
15	Раздел 8. Предмет и метод внешней баллистики. Физико-механические основы моделирования движения снаряда в атмосфере Земли.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	12
16	Раздел 9. Дополнительные элементы кинематики твердого тела, используемые во внешней баллистике.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	12
17	Раздел 10. Прикладная внешняя баллистика артиллерийского снаряда.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	12
18	Раздел 11. Баллистическая форма представления сил и моментов, действующих на снаряд – тело вращения на траектории.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Выполнение типовых расчетов.	4
Всего за 7 семестр			40
19	Раздел 12. Вращательное движение правильно движущегося	Выполнение курсовой работы	6
20		Изучение предусмотренных рабочей программой	22

	(послушного) артиллерийского снаряда.	дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.	
21		Выполнение курсовой работы	6
22	Раздел 13. Пространственное движение снарядов и неуправляемых ракет.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.	22
23		Выполнение курсовой работы	6
24	Раздел 14. Возмущенное движение снарядов и ракет. Теория поправок.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.	14
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>76</b>

### 3.5. Курсовая работа (6 семестр)

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Сбор информации о массо-габаритных характеристиках артиллерийского орудия и снаряда. Расчет объема зарядной каморы	1 - 4	3
Этап 2. Расчет энергетических характеристик порохов метательного заряда	5 - 6	3
Этап 3. Расчет коэффициентов для геометрического закона горения	7 - 10	3
Этап 4. Расчет приведенной ширины ведущего пояска и кривой врезания. Определение давления форсирования	11 - 12	3
Этап 5. Расчет внутренней баллистики. Определение основных пиродинамических параметров	13 - 14	3
Этап 6. Выполнение индивидуального задания по варьированию баллистических параметров	15 - 16	3
<b>Всего за 6 семестр</b>		<b>18</b>

### 3.6. Курсовая работа (8 семестр)

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Расчет коэффициентов нормальной силы и опрокидывающего момента конкретного артиллерийского снаряда по программе «Контур».	1 - 4	4
Этап 2. Анализ устойчивости и правильности движения снаряда на траектории.	5 - 6	4
Этап 3. Расчет бокового движения правильно движущегося снаряда.	7 - 8	2
Этап 4. Расчет пространственного движения артиллерийского снаряда.	9 - 10	2
Этап 5. Расчет влияния отклонений массы снаряда, температуры и давления воздуха на дальность стрельбы.	11 - 12	2
Этап 6. Учет влияния ветра на отклонение точки падения.	13 - 14	2
Этап 7. Оформление и подготовка к защите курсовой работы.	15 - 16	2
<b>Всего за 8 семестр</b>		<b>18</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
6				Колл		ДР			Колл	ДР					КР, Колл	ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.
7				Колл		ДР			Колл	ДР					Колл	ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.
8				Колл		ДР			Колл	ДР					Колл, КР	ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Колл – коллоквиум;
- КР – курсовая работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- диф. зач. – дифференцированный зачет;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет;
- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика. М.: Машиностроение, 2005, эл. рес.
2. Б. Э. Кэрт, Ж. Н. Андреева, О. Г. Агошков. . Кинематика (с дополнительными главами). СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 266 экз.
3. Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук;
2. Вопросы оборонной техники. Серия 16;
3. Вестник академии военных наук.

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

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
4. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. [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»;
3. <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. Google Chrome.

### 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:**

1. Проектор.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Google Chrome.

### **6.3. Лабораторные занятия:**

1. Проектор;
2. Google Chrome.

### **6.4. 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 **ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели. Дисциплина реализуется на факультете *Е* Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой **Е3 СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ**.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-20 (17.05.01) способность осуществлять профессиональную деятельность и применять методы математического моделирования боевой эффективности, надежности, баллистики, аэродинамики, взрыва, высокоскоростного удара, кумуляции, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций боеприпасов, а также сопутствующих взрывных технологий и технологий двойного назначения;

ПСК-26 (17.05.01) способность осуществлять профессиональную деятельность и применять методы математического моделирования боевой эффективности, надежности, баллистики, аэродинамики, взрыва, высокоскоростного удара, кумуляции, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций боеприпасов, а также сопутствующих взрывных технологий и технологий двойного назначения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с процессами движения активных, активно-реактивных и реактивных боеприпасов при выстреле и на траектории. Изучаются вопросы связанные с воспламенением и горением высокоэнергетических материалов, расширением, движением и истечением продуктов горения, и связанным с этим разгоном боеприпаса. Даются основные сведения о процессах баллистического проектирования. Рассматриваются вопросы движения аэробаллистических тел стабилизированных вращением и оперением. Дается подробное описание сил и моментов действующих на тело в процессе движения по траектории. Демонстрируются существующие подходы к учету аэродинамического сопротивления. Дается понятие о методах решения задач внутренней и внешней баллистики с использованием средств компьютерного моделирования.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет;
- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **11 з.е., 396 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**102 ч.**), практические занятия (**68 ч.**), лабораторный практикум (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**192 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 396 ч., из них 204 ч. аудиторных занятий, и 192 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. Общие сведения о явлении выстрела. Горение порохового заряда.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2, гл 1-2)	3
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		7
Итого по разделу 1		10
Раздел 2. Образование пороховых газов. Давление пороховых газов в постоянном объеме.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2, гл. 3-4)	3
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		7
Итого по разделу 2		10
Раздел 3. Предварительный период явления выстрела. Врезание ведущих поясков в нарезы.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2 гл. 5-6)	3
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		7
Итого по разделу 3		10
Раздел 4. Поступательное движение продуктов горения. Движение снаряда в канале ствола.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2 гл. 7-8)	3
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		7
Итого по разделу 4		10
Раздел 5. Расширение пороховых газов. Давление форсирования.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2 гл. 9-10)	2
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		10
Итого по разделу 5		12
Раздел 6. Основная задача внутренней баллистики. Аналитический метод профессора Слухоцкого.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2 гл. 12-13)	2
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		10
Итого по разделу 6		12
Раздел 7. Внутренняя баллистика реактивного двигателя на твердом топливе. Давление		

пороховых газов в камере РДТТ.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (ч.2 гл. 18)	2
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе		10
Итого по разделу 7		12
Раздел 8. Предмет и метод внешней баллистики. Физико-механические основы моделирования движения снаряда в атмосфере Земли.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (с. 12-57) Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с. 6-45)	12
Итого по разделу 8		12
Раздел 9. Дополнительные элементы кинематики твердого тела, используемые во внешней баллистике.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	Б. Э. Кэрт, Ж. Н. Андреева, О. Г. Агошков. . Кинематика (с дополнительными главами): СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (7)	12
Итого по разделу 9		12
Раздел 10. Прикладная внешняя баллистика артиллерийского снаряда.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (с.49-74; 148-168; 240-252) Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с. 17-2; 46-71)	12
Итого по разделу 10		12
Раздел 11. Баллистическая форма представления сил и моментов, действующих на снаряд – тело вращения на траектории.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Выполнение типовых расчетов.	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с.35-54) А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (с. 58-74)	4
Итого по разделу 11		4
Раздел 12. Вращательное движение правильно движущегося (послушного) артиллерийского снаряда.		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с. 94-123) А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (170-208; 306-335)	6
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.		22
Итого по разделу 12		28
Раздел 13. Пространственное движение снарядов и неуправляемых ракет.		
Выполнение курсовой работы	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (с. 58-65; 80-127; 155-169; 332-335;)	6
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам		22

и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с.26-64; 87-93;; 124-130.)	
Итого по разделу 13		28
<b>Раздел 14. Возмущенное движение снарядов и ракет. Теория поправок.</b>		
Выполнение курсовой работы	Е. В. Чурбанов. . Краткий курс баллистики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (с. 72-80; 131-139)	6
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, выполнение типовых расчетов.	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (с. 361-442; 469-476;584-591)	14
Итого по разделу 14		20

## **ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

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

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- вопросы к экзамену;
- экзамен;
- дифференцированный зачет;
- 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.

#### **Коллоквиум**

Проводится по результатам прошедших тем. Аттестовывается студент, обнаруживший знание основного пройденного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы.

#### **Курсовая работа**

Курсовая работа представляется в печатной форме. Прием курсовой работы оформляется после ее защиты. Защита курсовой работы проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Курсовая работа содержит индивидуальное задание.

Защита курсовой работы осуществляется целиком.

Правильное оформление пояснительной записки и верные своевременные ответы студента на вопросы преподавателя являются основанием для приема курсовой работы.

Защита курсовой работы оценивается оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «не защитил».

Основой для определения оценки служит уровень усвоения студентом материала, предусмотренного учебной программой дисциплины.

– оценки «отлично» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший при ответах на вопросы всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку оформленную в соответствии с действующими требованиями;

– оценки «хорошо» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку содержащую незначительные отступления от действующих требований и погрешности оформления;

– оценки «удовлетворительно» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку содержащую серьезные отступления от действующих требований и существенные погрешности оформления;

– оценка «не защитил» по итогам защиты курсовой работы выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала и материалов представленной им курсовой работы, допустившему принципиальные ошибки при ответах на вопросы преподавателя. Как правило, оценка «не защитил» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании БГТУ без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

В 6-ом семестре дифференцированный зачет принимается по следующим вопросам:

1. Явление выстрела.
  2. Общее представление о физико - механических процессах, происходящих при выстреле.
  3. Основные периоды явления выстрела.
  4. Основная задача внутренней баллистики. Прямая и обратная задачи внутренней баллистики
  5. Механизм горения бездымных порохов и твёрдых топлив. Геометрический закон горения пороха.
  6. Типы пороховых зерен.
  7. Быстрота газообразования.
  8. Трехчленный и двухчленный закон газообразования.
  9. Площадь поверхности и объем порохового зерна.
  10. Коэффициент прогрессивности пороха.
  11. Особенности горения распадающихся зерен на примере семиканального зерна.
  12. Горение пороха в постоянном объеме. Текущее давление пороховых газов.
  13. Полное пиростатическое давление.
  14. Экспериментальное определение силы пороха и коволюма пороховых газов.
  15. Полный импульс давления пороховых газов.
  16. Расчет предварительного (пиростатического) периода.
  17. Воспламенение порохового заряда.
  18. Особенности процесса врезания ведущего пояска.
  19. Контактные напряжения в процессе врезания.
  20. Сила сопротивления врезанию.
  21. Учет поступательного движения продуктов сгорания (ПС) в канале ствола.
  22. Распределение скорости ПС по длине канала ствола.
  23. Кинетическая энергия газо-пороховой смеси.
  24. Распределения давления по длине канала.
  25. Давление на дно снаряда и на дно каморы.
  26. Баллистическое давление пороховых газов.
  27. Уравнение движения центра масс снаряда (уравнение поступательного движения).
  28. Уравнение вращательного движения снаряда.
  29. Определение составляющих сил инерции, действующих на элемент массы снаряда в канале ствола.
  30. Коэффициент фиктивности, его составляющие.
  31. Баланс энергии при выстреле. Основное уравнение пиродинамики.
  32. Коэффициент учета второстепенных работ. Связь с коэффициентом фиктивности.
  33. Предельная скорость снаряда.
  34. Понятие о давлении форсирования. Способы учета периода форсирования.
  35. Параметры, используемые при учете периода форсирования.
  36. Система уравнений внутренней баллистики при аргументе  $t$ .
  37. Методы решения системы уравнений при аргументе  $t$ .
  38. Решение ОЗВнуБ в пиродинамическом периоде. Система уравнений с аргументом  $z$ .
- В 7-ом семестре дифференцированный зачет принимается по следующим вопросам:
1. Предмет внешней баллистики. Начала динамики Галилея-Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Гелиоцентрическая, геоцентрическая и земная системы отсчета.
  2. Ускорение Кориолиса, сила земного притяжения и сила тяжести.
  3. Учет зависимости ускорения силы тяжести от широты и высоты, влияние изменения направления силы тяжести на полет снаряда. Параболическая теория.
  4. Стандарты атмосферы в баллистике. Нормальная артиллерийская атмосфера. Учет важности воздуха. Виртуальная температура.
  5. Условие вертикального равновесия. Распределение плотности и температуры по высоте. Стандартная атмосфера СА81.
  6. Движение центра масс снаряда в пустоте. Параболическая теория.
  7. Обтекание тела стационарным потоком идеальной несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли. Парадокс Д'Аламбера.
  8. Обтекание твердого тела стационарным потоком вязкой жидкости. Пограничный слой. Число Рейнольдса. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Изменение параметров потока по толщине пограничного слоя.
  9. Отрыв пограничного слоя. Вихревое сопротивление, сопротивление трения.
  10. Влияние сжимаемости воздуха на аэродинамическое сопротивление. Число Маха. Формулы изоэнтропического торможения.
  11. Ударные волны. Изменение параметров потока на прямом скачке уплотнения.
  12. Косой скачок уплотнения. Поворот потока на косом скачке уплотнения. Особенности обтекания клина и конуса. Отошедший скачок уплотнения.
  13. Структура ударных волн около типовых снарядов. Волновое сопротивление.
  14. Оптимальная форма снаряда.



15. Стартовая Земная система координат. Общая задача пространственного движения снаряда в атмосфере. Главный вектор и главный момент сил аэродинамического сопротивления.
16. Основная задача внешней баллистики (ОЗВБ). Основные допущения. Система уравнений движения снаряда.
17. Лобовое сопротивление. Коэффициент лобового сопротивления. Зависимость от числа Маха. Коэффициент формы. Баллистический коэффициент. Функции сопротивления. Законы сопротивления воздуха.
18. Основная задача внешней баллистики. Основные допущения. Системы уравнений с аргументами.
19. Уравнение годографа скорости. Подстановка Сиаичи.
20. Приближенно-аналитические методы решения основной задачи внешней баллистики. Метод Эйлера.
21. Приближенно-аналитические методы решения основной задачи внешней баллистики. Метод Сиаичи. Основные функции Сиаичи.
22. Расчет параметров траектории с помощью основных функций Сиаичи.
23. Определение параметров в вершине траектории и в точке падения с помощью основных функций Сиаичи.
24. Силы и моменты, действующие на снаряд в атмосфере и зависящие от положения оси снаряда относительно касательной к траектории центра масс.
25. Силы и моменты, действующие на снаряд в атмосфере и зависящие от движения оси снаряда и вращения снаряда вокруг оси.
26. Преобразование вектора при повороте с/к. Матрица перехода от неповернутой с/к к повернутой. Свойства матрицы перехода.
27. Стартовая и связанная системы координат. Использование направляющих косинусов для задания углового положения тела в пространстве (связанной с/к относительно стартовой). Свойства матрицы направляющих косинусов.
28. Дифференциальные уравнения Пуассона для производных направляющих косинусов.
29. Стартовая и связанная системы координат. Использование самолетных углов для задания углового положения тела в пространстве (связанной с/к относительно стартовой). Выражение матрицы перехода от стартовой с/к к связанной через самолетные углы.
30. Стартовая, связанная и полускоростная (траекторная) системы координат. Ориентация связанной системы координат относительно полускоростной с помощью углов Эйлера. Выражение матрицы перехода от связанной с/к к полускоростной через углы Эйлера.
31. Стартовая, связанная и полускоростная (траекторная) системы координат. Ориентация связанной системы координат относительно полускоростной с помощью углов Де Спарра. Выражение матрицы перехода от связанной с/к к полускоростной через углы Де Спарра.
32. Связанная, полускоростная (траекторная) и скоростная системы координат. Ориентация вектора скорости центра масс в связанной системы координат с помощью угла атаки и скольжения. Матрица перехода от стартовой с/к к скоростной.
33. Выражения производных углов Эйлера через проекции угловой скорости на оси связанной с/к.
34. Выражения производных углов Де Спарра через проекции угловой скорости на оси связанной с/к.

### **Вопросы к экзамену**

1. Аналогия между вращающимся снарядом и неуравновешенным гироскопом с тремя степенями свободы.
2. Соотношение между гироскопической устойчивостью и правильностью полета снаряда на прямолинейном участке и на всей траектории.
3. Уравнения вращательного движения снаряда относительно полускоростной системы координат под действием только опрокидывающего момента при равномерном прямолинейном движении центра масс. (Уравнения нутации, прецессии и ротации для углов Эйлера).
4. Общие понятия об устойчивости движения и стабилизации ракет и снарядов. Стабилизация вращением и стабилизация оперением. Гироскопическая устойчивость и правильность движения снаряда по траектории.
5. Гироскопическая устойчивость и правильность движения снаряда на начальном участке траектории. Условие правильности движения снаряда на начальном участке траектории. Коэффициент веса. Коэффициент гироскопической устойчивости.
6. Определение длины хода нарезов из условия гироскопической устойчивости на начальном участке траектории.
7. Влияние параметров снаряда и ствола на устойчивость и правильность движения на начальном участке траектории.
8. Уравнения вращательного движения послушного снаряда вокруг центра масс при равномерном прямолинейном горизонтальном движении центра масс под действием только опрокидывающего момента (уравнения для углов Де Спарра, вывод).
9. Решение уравнений вращательного движения послушного снаряда вокруг центра масс при



равномерном прямолинейном горизонтальном движении центра масс под действием только опрокидывающего момента (уравнения для углов Де Спарра). Движение оси снаряда в пространстве. Быстрое и медленное коническое движение. Движение конца орта оси снаряда в изображающей плоскости. Изменение углов нутации и прецессии.

10. Уравнения вращательного движения послушного снаряда вокруг центра масс под действием одного опрокидывающего момента при прямолинейном горизонтальном, но неравномерном движении центра масс. (Решение неоднородного уравнения для комплексной переменной, составленной из углов Де Спарра, вывод решений для углов Де Спарра).

11. Уравнения вращательного движения послушного снаряда вокруг центра масс под действием одного опрокидывающего момента при криволинейном неравномерном движении центра масс. (Составление и решение дифференциальных уравнений. Частное решение неоднородного уравнения для комплексной переменной, составленной из углов Де Спарра. Динамические углы, соотношение между ними).

12. Ось снаряда, псевдоось, динамическая ось. Их взаимное расположение при движении снаряда по траектории. Изменение углов, .

13. Гироскопическая устойчивость и правильность полета снаряда на криволинейном участке траектории. Достаточное условие правильности полета на начальном участке и всей траектории. Влияние конструктивных параметров снаряда и ствола на правильность полета вблизи вершины траектории.

14. Выбор длины хода нарезов из условия правильности полета на криволинейном участке траектории.

15. Движение центра масс правильно движущегося снаряда под действием нормальной составляющей силы сопротивления воздуха. Деривация ее численный расчет.

16. Динамические уравнения Эйлера-Пуассона для описания пространственного движения, снаряда с использованием направляющих косинусов связанной системы координат в стартовой.

### **Экзамен**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

В восьмом семестре промежуточная аттестация происходит в форме экзамена. Для получения оценки студент устно отвечает на 3 вопроса из различных разделов РПД. Количество правильных ответов определяет итоговую оценку:

1. Ни одного правильного ответа - оценка "не зачтено".
2. Один правильный ответ - оценка "зачтено-удовлетворительно"
3. Два правильных ответа - оценка "зачтено-хорошо"
4. Три правильных ответа - оценка "зачтено-отлично"

### **Дифференцированный зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

В шестом семестре промежуточная аттестация происходит в форме дифференцированного зачета. Для получения оценки студент устно отвечает на 3 вопроса из различных разделов РПД. Количество правильных ответов определяет итоговую оценку:

1. Ни одного правильного ответа - оценка "не зачтено".
2. Один правильный ответ - оценка "зачтено-удовлетворительно"
3. Два правильных ответа - оценка "зачтено-хорошо"
4. Три правильных ответа - оценка "зачтено-отлично"

### **Дифференцированный зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

В седьмом семестре промежуточная аттестация происходит в форме дифференцированного зачета. Для получения оценки студент устно отвечает на 3 вопроса из различных разделов РПД. Количество правильных ответов определяет итоговую оценку:

1. Ни одного правильного ответа - оценка "не зачтено".
2. Один правильный ответ - оценка "зачтено-удовлетворительно"
3. Два правильных ответа - оценка "зачтено-хорошо"
4. Три правильных ответа - оценка "зачтено-отлично"

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-20 (17.05.01)	ПСК-26 (17.05.01)	
3	6	Раздел 1. Общие сведения о явлении выстрела. Горение порохового заряда.	18	8	4	0	4	10	4	4	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
3	6	Раздел 2. Образование пороховых газов. Давление пороховых газов в постоянном объеме.	18	8	4	0	4	10	4	4	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
3	6	Раздел 3. Предварительный период явления выстрела. Врезание ведущих поясков в нарезы.	18	8	4	0	4	10	6	6	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
3	6	Раздел 4. Поступательное движение продуктов горения. Движение снаряда в канале ствола.	22	12	6	0	6	10	6	6	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
3	6	Раздел 5. Расширение пороховых газов. Давление форсирования.	24	12	6	0	6	12	5	5	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
3	6	Раздел 6. Основная задача внутренней баллистики. Аналитический метод профессора Слухоцкого.	24	12	6	0	6	12	5	5	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум

3	6	Раздел 7. Внутренняя баллистика реактивного двигателя на твердом топливе. Давление пороховых газов в камере РДТТ.	20	8	4	0	4	12	4	4	Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
Всего за 6 семестр			144	68	34	0	34	76	34	34	
4	7	Раздел 8. Предмет и метод внешней баллистики. Физико- механические основы моделирования движения снаряда в атмосфере Земли.	32	20	20	0	0	12	10	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
4	7	Раздел 9. Дополнительные элементы кинематики твердого тела, используемые во внешней баллистике.	32	20	0	0	20	12	10	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
4	7	Раздел 10. Прикладная внешняя баллистика артиллерийского снаряда.	36	24	10	0	14	12	10	10	Коллоквиум, Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 11. Баллистическая форма представления сил и моментов, действующих на снаряд – тело вращения на траектории.	8	4	4	0	0	4	3	3	Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум
Всего за 7 семестр			108	68	34	0	34	40	33	33	
4	8	Раздел 12. Вращательное движение правильно движущегося (послушного) артиллерийского снаряда.	48	20	12	8	0	28	11	11	Коллоквиум, Курсовая работа, Вопросы к экзамену
4	8	Раздел 13. Пространственное движение снарядов и неуправляемых ракет.	52	24	12	12	0	28	11	11	Курсовая работа, Вопросы к экзамену, Коллоквиум

4	8	<b>Раздел 14. Возмущенное движение снарядов и ракет. Теория поправок.</b>	44	24	10	14	0	20	11	11	Курсовая работа, Вопросы к экзамену, Коллоквиум
<b>Всего за 8 семестр</b>			144	68	34	34	0	76	33	33	
<b>Всего по дисциплине</b>			396	204	102	34	68	192	100	100	