

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Ю.Н. РЫЖИХ

06

20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Внутренняя баллистика**

по направлению подготовки

**24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Баллистика и гидроаэродинамика**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.30

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Г.Р. Шрагер

Руководитель ОПОП

В.И. Биматов

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2022

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1 Знать теорию и основные законы в области естественнонаучных и общетехнических дисциплин

ИОПК-1.2 Уметь применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

ИОПК-1.3 Уметь применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

ИОПК-5.1 Знать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

ИОПК-5.2 Уметь применять методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

ИОПК-6.1 Знать основные способы учета аэродинамических и баллистических параметров при решении задач ракетно-космической техники

ИОПК-6.2 Уметь решать задачи ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров

ИОПК-6.3 Иметь навыки анализа влияния аэродинамических и баллистических параметров на эксплуатационные характеристики ракетно-космической техники

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Изучить основы теории горения порохов, закономерности процесса газообразования, постановку основной задачи внутренней баллистики.

– Научиться проводить обработку результатов манометрических исследований, рассчитывать скорость горения пороха в замкнутом объеме.

– Изучить основные процессы и периоды выстрела, аналитические и численные методы решения основной задачи, зависимости основных характеристик выстрела от параметров заряда и снаряда

– Научиться получать аналитическое и численное решение основной задачи внутренней баллистики, проводить анализ зависимостей баллистических параметров выстрела от условий заряжания.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Шестой семестр, зачет

Седьмой семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Обучающийся должен знать:

- основы термодинамики;
- основы теоретической механики;
- основы математического анализа и линейной алгебры;
- основы численных методов вычислений.

Обучающийся должен уметь:

- решать обыкновенные дифференциальные уравнения
- проводить численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 часов, из которых:

- лекции: 40 ч.
- практические занятия: 54 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Предмет и задачи внутренней баллистики ствольных систем

Введение. История развития внутренней баллистики. Деление внутренней баллистики на разделы. Основные обозначения и определения во внутренней баллистике

Тема 2. Пороха, заряды и их характеристики.

Виды и назначение взрывчатых веществ, пороха, их виды, свойства и формы, жидкие метательные вещества. Баллистические и физико-химические свойства порохов. Артиллерийские заряды и снаряды.

Тема 3. Горение пороха в замкнутом объеме

Общая характеристика процесса горения пороха в замкнутом объеме. Уравнение состояния пороховых газов. Общая формула пиростатики, формула для наибольшего давления. Опытное определение баллистических параметров пороха. Учет тепловых потерь в манометрических экспериментах.

Тема 4. Основные законы горения порохов

Геометрический и физический законы горения порохов. Скорость горения пороха, ее определение. Плотность заряжания и полный импульс давления пороховых газов. Интегральный критерий Шмица.

Тема 5. Закономерности процесса газообразования

Скорость газообразования при геометрическом законе горения. Дегрессивно и прогрессивно горящие формы пороховых зерен. Физический закон газообразования, функция формы Шарбонье, Г-функция Серебрякова и ее применение, влияние флегматизаторов и ингибиторов горения. Использование интегральных диаграмм.

Тема 6. Особенности различных режимов горения порохов

Срыв горения в поры. Особенности горения порохов с узкими каналами. Конвективный режим горения в пористых системах. Низкоскоростной режим взрывчатого превращения, переход горения в детонацию.

Тема 7. Основные процессы артиллерийского выстрела

Понятие об артиллерийском выстреле, общее устройство ствола, ведущих систем снаряда. Давление форсирования. Сопротивление ведущего пояска при движении снаряда по каналу ствола. Гладкоствольные системы. Движение и горение элементов метательного заряда.

#### Тема 8. Основная (прямая) задача внутренней баллистики

Классическая постановка основной задачи. Система уравнений, уравнение Резаля, коэффициент фиктивности массы, уравнение движения снаряда, начальные условия. Распределение скорости газа и давления в заснарядном пространстве. Влияние уширения камеры на характеристики выстрела. Учет тепловых потерь при выстреле.

#### Тема 9. Решение основной задачи внутренней баллистики в классической постановке

Интегрирование уравнений методом Дроздова для предварительного, первого и второго периодов выстрела. Условия достижения максимального давления выстрела. Иллюстрация и свойства аналитического решения.

#### Тема 10. Решение основной задачи при физическом законе газообразования.

Постановка задачи при использовании физического закона газообразования. Решение основной задачи при физическом законе горения заряда.

#### Тема 11. Численные методы решения основной задачи для орудия классической схемы

Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Применение метода Рунге-Кутты для решения основной задачи внутренней баллистики ствольных систем.

#### Тема 12. Специальные методы баллистических расчетов

Безразмерные переменные, подобие орудий, Баллистические таблицы. Приближенные методы решения основной задачи. Упрощенные зависимости внутренней баллистики. Поправочные формулы. Слухоцкого, Ермолаева.

#### Тема 13. Период последствия пороховых газов

Основные физические процессы, сопровождающие период последствия. Дульные тормоза. Расчет движения снаряда и откатных частей орудия в период последствия.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

### **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Экзамен** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Баллистические и физико-химические свойства порохов
2. Виды артиллерийских зарядов и снарядов
3. Структура фронта волны конвективного горения.
4. Переход горения в детонацию
5. Общая формула пиростатики

6. Опытное определение силы пороха и коволюма
7. Опытное определение закона скорости горения
8. Скорость газообразования при геометрическом и физическом законе горения
9. Г-функция Серебрякова и особенности ее поведения
10. Дегрессивно и прогрессивно горящие формы пороховых зерен.
11. Использование интегральных диаграмм
12. Классическая постановка основной задачи внутренней баллистики.
13. Распределение скорости газа и давления в заснарядном пространстве.
14. Влияние уширения камеры на характеристики выстрела.
15. Решение ОЗВБ для предварительного и первого периода выстрела
16. Решение ОЗВБ для второго периода выстрела
17. Постановка ОЗВБ при использовании физического закона газообразования
18. Влияние характеристик снаряда, свойств пороха и давления форсирования на баллистические параметры выстрела
19. Применение метода Рунге-Кутты для решения основной задачи внутренней баллистики ствольных систем.
20. Основные физические процессы, сопровождающие период последствия
21. Устройство и назначение дульного тормза.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

*Оценка «отлично» ставится при правильном ответе на все вопросы на экзамене при условии правильного выполнения 90% заданий по промежуточной аттестации.*

*Оценка «хорошо» ставится при правильном ответе на все вопросы на экзамене при условии правильного выполнения 70% заданий по промежуточной аттестации.*

*Оценка «удовлетворительно» ставится при правильном ответе на все вопросы на экзамене при условии правильного выполнения 50% заданий по промежуточной аттестации.*

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view?id=22469>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине с набором контрольных вопросов.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. Баллистика ствольных систем. / Под ред. Л.Н. Лысенко, А.М. Липанова, Машиностроение, 2006.

2. Ассовский И.Г. Физика горения и внутренняя баллистика М., Наука, 2005г

3. Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах Новосибирск, СО РАН, 1999.

4. Русяк И.Г., Ушаков В.М. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах. РАН, Екатеринбург, 2001.

5. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М.: Оборонгиз, 1962.

6. Термогазодинамические основы внутренней баллистики ствольных систем (Вилюнов В.Н., Губарев А.В., Михайловский Ю.В. и др.) Пенза ПВИАУ, 1974

7. Чурбанов В.Е. Внутренняя баллистика Л.; ВАОЛКА, 1975.

8. Блинов А. Курс артиллерии ISBN 978-5-458-30510-5; 2012 г

9. Рассе. Дж. Баллистика ISBN 978-5-5129-0585-2; 2012 г.

б) дополнительная литература:

1. Баллистика / С.В. Беневольский, В.В. Бурлов, В.П. Казаковцев и др.; Под ред. Л.Н. Лысенко. Учебник для курсантов и слушателей ГРАУ. Пенза, ПАИИ, 2005
2. Губарев А.В., Михайловский Ю.В. Теплотехника и внутренняя баллистика ствольных систем и реактивных двигателей. М.: Изд-во МО СССР 1986
3. Чурбанов В.Е. Краткий курс баллистики С.-Пб. Изд-во БГТУ, 2000.
4. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь. Под ред. Академика Б.П. Жукова. М., Янус, 2000

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### 15. Информация о разработчиках

Ищенко Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, Физико-технический факультет НИ ТГУ, профессор