

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

**Динамика реактивных систем**

по направлению подготовки

**24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Баллистика ракетно-ствольных систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2022**


Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.04.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

 В.И. Биматов

Председатель УМК

 В.А. Скрипняк

Томск – 2022

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

\_\_\_\_\_ Ю.Н. Рыжих

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

Рабочая программа дисциплины

**Динамика реактивных систем**

по направлению подготовки

**24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Баллистика ракетно-ствольных систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.04.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_ В.И. Биматов

Председатель УМК

\_\_\_\_\_ В.А. Скрипняк

Томск – 2023

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-7 Способен анализировать и обобщать результаты физического и численного моделирования, обоснованно выбирать аэродинамические и баллистические параметры ракет и космических аппаратов..

ПК-2 Способен применять знания на практике, в том числе составлять математические модели профессиональных задач, находить способы их решения и интерпретировать профессиональный (физический) смысл полученного математического результата.

ПК-3 Способен разрабатывать методики исследования динамических характеристик при моделировании движения летательных аппаратов.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 7.1 Знать способы учета аэродинамических и баллистических параметров ракет и космических аппаратов при физическом и численном моделировании

ИОПК 7.2 Уметь выбирать аэродинамические и баллистические параметры ракет и космических аппаратов на основе анализа результатов моделирования

ИОПК 7.3 Владеть навыками проведения и анализа результатов физического и численного моделирования

ИПК 2.1 Знает математическое описание законов баллистики и гидроаэродинамики.

ИПК 2.2 Умеет составлять математические модели профессиональных задач и находить способы их решения

ИПК 2.3 Осуществляет анализ и интерпретацию результатов математического моделирования

ИПК 3.1 Знает основы теории движения летательных аппаратов

ИПК 3.2 Умеет формулировать аспекты задач исследования, выбирать методы их решения и представлять результаты исследований

ИПК 3.3 Осуществляет моделирование процессов динамики движения, аэродинамики, баллистики и управления полетом летательных аппаратов с учетом сложности систем и на основе современных научных знаний

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– приобретение основ фундаментальных знаний и представлений о принципах, структуре и особенностях динамики полета реактивных снарядов, понимание взаимосвязи многих сложных физических явлений и процессов, позволяющих решать задачи математического моделирования движения неуправляемых реактивных тел в атмосфере земли;

– ознакомление с методами и подходами решения задач лабораторной и полигонных практик отработки реактивных систем.

Освоение дисциплины позволяет глубже разобраться в теоретических основах и практических алгоритмах и методик определения основных аэродинамических характеристик неуправляемых реактивных снарядов.

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

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Третий семестр, зачет

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Астродинамика; Динамика полета тел, стабилизируемых вращением.

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

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-лабораторные: 14 ч.

-практические занятия: 14 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

**Тема 1.** Общие уравнения движения неуправляемых реактивных снарядов в проекциях на оси выбранных систем координат. Движение не вращающегося реактивного снаряда.

**Тема 2.** Построение приближенного решения задачи о колебательном движении реактивного снаряда. Расчет рассеивания РС. Исследование движения вращающихся РС.

**Тема 3.** Рассеивание противотанковых систем. Исследование движения вращающихся ракет.

## **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**

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций:

### **Темы рефератов**

1. Кинематические соотношения, определяющие движение реактивных снарядов. Определение сил и моментов, действующих на неуправляемый реактивный снаряд.
2. Линеаризация уравнений пространственного движения относительно угловых параметров. Уравнения продольного движения реактивного снаряда. Боковое движение не вращающегося реактивного снаряда. Уравнения движения реактивного снаряда при наличии ветра.
3. Критерии устойчивости движения по Ляпунову, вытекающие из рассмотрения дифференциальных уравнений движения.
4. Доминирующая роль несимметрии реактивной силы в угловом разбросе оперенных ракет. Конечные формулы для угла атаки и для углового отклонения вектора скорости  $\Delta\theta$ , содержащие функции Бесселя и интегралы Френеля.
5. Критический участок траектории. Графический метод расчета. Основная расчетная формула для определения углового разброса реактивного снаряда.

6. Основные особенности баллистики противотанковых реактивных снарядов. Влияния аэродинамических сил и моментов на угловые отклонения противотанковых ракет.
7. Дальность прямого выстрела. Анализ углового и бокового разброса противотанковых ракет. Расчет рассеивания противотанковых ракет по высоте.
8. Система уравнений движения для определения угловых отклонений оси и вектора скорости. Свободное колебание оси ракеты. Условия устойчивости. Вынужденные колебания оси вращающейся ракеты.
9. Решения задачи о движении реактивного снаряда в упрощенной постановке. Определение начальных условий схода ракеты с направляющей.

**Лабораторные работы:**

1. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента лобового сопротивления на траекторию РС.
2. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента подъемной силы на траекторию РС.
3. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента стабилизирующего момента на траекторию РС.
4. Влияние формы тела на скорость центра масс и дальность полета РС.
5. Влияние начальных условий схода с направляющей на рассеивание РС.
6. Влияние крутящего момента на рассеивание РС.

На основе содержания курса, по каждому из разделов сформулированы вопросы, обсуждаемые в ходе работы с преподавателем. Уровень подготовки обучающегося и его оценка выявляются в результате собеседований. Самостоятельная работа студентов опирается на ряд учебных пособий. В основе итоговой оценки лежит качество освоения разделов дисциплины с учётом степени активности каждого слушателя в ходе проведения семинаров.

Зачтено	Выставляется студенту, владеющему базовыми знаниями в области изучаемой дисциплины, необходимыми для решения поставленных задач.
Не зачтено	Выставляется студенту в случае отсутствия решения поставленной задачи или решения задачи косвенными методами.

**11. Учебно-методическое обеспечение**

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24768>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

**Вопросы самоконтроля знаний.**

1. Системы координат, необходимые для описания движения неуправляемого реактивного снаряда.
2. Силы и моменты, действующие на неуправляемый реактивный снаряд при его движении в воздухе в проекциях на оси выбранных систем координат.
3. Система дифференциальных уравнений, определяющая движение реактивного снаряда при любых значениях углов атаки и скольжения.
4. Линеаризация уравнений пространственного движения относительно угловых параметров.
5. Критерии устойчивости движения по Ляпунову, вытекающие из рассмотрения дифференциальных уравнений движения.
6. Интегрирование уравнений колебательного движения реактивного снаряда.

7. Вероятные угловые отклонения вектора скорости.
8. Критический участок траектории.
9. Графический метод расчета. Спираль Корню.
10. Зависимость углового разброса от конкретных параметров ракеты и длины направляющей.
11. Эффективная длина направляющей.
12. Основные особенности баллистики противотанковых реактивных снарядов.
13. Влияния аэродинамических сил и моментов на угловые отклонения противотанковых ракет.
14. Дальность прямого выстрела.
15. Линеаризованные уравнения движения при исследовании движения вращающихся ракет
16. Преобразование уравнений вращательного движения.
17. Свободное колебание оси ракеты. Условия устойчивости.
18. Вынужденные колебания оси вращающейся ракеты.
19. Определение начальных условий схода ракеты с направляющей.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Биматов В.И., Савкина Н.В., Тимченко С.В., Фарапонов В.В. Основы экспериментальной внешней баллистики: учеб. пособие / – Томск: STT, 2017. – 122с.
2. Степанов В.П. Внешняя баллистика. Ч.1. Томск: изд. ТГУ, 2011, 738 с.
3. Степанов В. П. Внешняя баллистика. Ч. 2 / В. П. Степанов; Том. гос. ун-т. – Томск: Издательство Том. ун-та, 2011. – 540 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000408012>
4. Степанов В. П. Внешняя баллистика: [сборник таблиц]. Ч. 3 / В. П. Степанов, А. М. Тимохин ; Том. гос. ун-т. Томск : Издательство Том. ун-та, 2011. – 384 с.
5. Калугин В. Т. Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов: [учебное пособие] / В. Т. Калугин. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 686 с.

б) дополнительная литература

1. Движение ракет: Введение в теорию полета ракет / А. А. Дмитриевский, В. П. Казаковцев, В. Ф. Устинов и др. ; Под ред. А. А. Дмитриевского. – М.: Воениздат, 1968. – 463 с.
2. Гантмахер Ф.Р., Левин Л.М. Теория полета неуправляемых ракет. М: Физматгиз, 1959, 230 с.
3. Колесников А. А. Новые нелинейные методы управления полетом / А. А. Колесников. – М.: Физматлит, 2013. – 193 с.
4. Охоцимский Д. Е. Основы механики космического полета: [учебное пособие] / Д. Е. Охоцимский, Ю. Г. Сихарулидзе.  
URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000335827/000335827.pdf>

в) ресурсы сети Интернет:

Все виды информационных ресурсов Научной библиотеки ТГУ. Информационные источники сети Интернет.

– Общероссийская Сеть Консультант Плюс Справочная правовая система.

<http://www.consultant.ru>

## 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 (репозитории) 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**

Фарапонов Валерий Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент каф. Динамики полета