

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Дека́н  
  
Ю.Н. Рыжих  
06 20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Динамика полета тел, стабилизируемых вращением**

по направлению подготовки

**24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

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

Форма обучения  
**Очная**

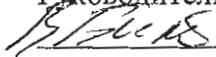
Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.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 полета тел, стабилизируемых вращением**

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.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-2 Способен ставить и решать задачи по проектированию, конструированию и производству объектов профессиональной деятельности при использовании современных информационных технологий;

ОПК-4 Способен принимать технические решения на основе экономических нормативов.

ОПК-6 Способен разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров.

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.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.1 Знать общие принципы постановки и решения проектных и конструкторских задач.

ИОПК 2.2 Уметь ставить и решать задачи по проектированию, конструированию и производству объектов профессиональной деятельности в рамках современных информационных технологий

ИОПК 2.3 Владеть навыками использования современных информационных технологий при решении профессиональных задач

ИОПК 4.1 Знать методологические основы оценки экономической эффективности технических решений

ИОПК 4.2 Уметь применять критерии и методы технико-экономического обоснования конструктивно-технологических решений

ИОПК 4.3 Владеть навыками анализа себестоимости продукции

ИОПК 6.1 Знать передовые методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров

ИОПК 6.2 Уметь разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров

ИОПК 6.3 Владеть навыками анализа влияния аэродинамических и баллистических параметров на характеристики объектов ракетно-космической техники

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

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Владение студентами основами фундаментальных знаний и представлений о принципах, структуре и особенностях динамики полета осесимметричных тел, пониманием взаимосвязи многих сложных физических явлений и процессов, позволяющих решать задачи математического моделирования движения тел, стабилизируемых вращением в атмосфере земли.

– Владение студентами методами и подходами решения задач лабораторной и полигонных практик отработки артиллерийских систем и боеприпасов к ним.

– Овладение студентами методами решения комплекса задач, связанных с построением математических моделей и определением характеристик систем, проведением расчетных работ, анализа состояния исследуемого вопроса и определения направления исследований.

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

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

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

Первый семестр, зачет

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

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 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 8 ч.

-лабораторные: 22 ч.

-практические занятия: 10 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

**Тема 1.** Математические модели движения снарядов. Движения снаряда относительно центра масс при малом угле нутации под действием одного опрокидывающего момента.

**Тема 2.** Силы и моменты, действующие на снаряд в полете. Баллистическая форма записи аэродинамических сил и моментов. Основные теоремы механики тел постоянной массы. Уравнения движения тела. Общая модель движения артиллерийского снаряда в однородном поле силы тяжести.

**Тема 3.** Выбор обобщенных координат. Составление уравнений Лагранжа 2 рода. Нахождение и исследование интеграла однородного уравнения. Нахождение частного интеграла неоднородного уравнения. Точное решение уравнения нутационного колебания снаряда. Приближенные методы решения основного уравнения нутационного колебания.

**Тема 4.** Движения вращающегося снаряда относительно центра масс при малом угле нутации под действием полной системы сил и моментов. Приложение теории вращательного движения снаряда к практическим вопросам баллистики.

### **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 Комплекты прямоугольных систем координат. Матрицы поворотов.
2. Применение стандартных атмосфер.
3. Силы и моменты, действующие на снаряд в полете. Баллистическая форма записи аэродинамических сил и моментов.
4. Основные теоремы механики тел постоянной массы. Уравнения движения тела.
5. Общая характеристика математических моделей движения снарядов. Модели относительного движения центра масс снаряда. Модели движения центра масс снаряда с учетом ветра. Общая модель движения артиллерийского снаряда в однородном поле силы тяжести.
6. Выбор обобщенных координат. Составление уравнений Лагранжа 2 рода. Нахождение и исследование интеграла однородного уравнения. Нахождение частного интеграла неоднородного уравнения. Точное решение уравнения нутационного колебания снаряда.
7. Движение снаряда около центра масс при немалом угле нутации (до 37 градусов). Приближенные методы решения основного уравнения нутационного колебания.
8. Составление уравнений движения снаряда около центра масс в форме уравнений Лагранжа 2 рода. Уравнения движения центра масс снаряда и преобразование уравнений движения снаряда около центра масс.
9. Определение линейных и угловых параметров движения снаряда в случае классического метода регистрации его движения.
10. Методики определения аэродинамического коэффициента силы лобового сопротивления (5 методик).
11. Определение аэродинамического коэффициента опрокидывающего момента.
12. Определение аэродинамического коэффициента нормальной составляющей силы сопротивления воздуха. Определение аэродинамического коэффициента продольного демпфирующего момента и момента Магнуса.
13. Определение крутизны нарезов ствола орудия, необходимой для обеспечения требуемой угловой скорости вращения снаряда.
14. Методы определения величины дериационного отклонения (3 метода).

## Лабораторные работы:

- Применение фотометрических блокирующих устройств для регистрации момента пролета сечения трассы.
- Подготовка до экспериментальных данных для баллистического эксперимента.
- Измерение средней скорости модели.
- Определение аэродинамического коэффициента силы лобового сопротивления.
- Применение скоростной видео камеры для визуализации движения модели.

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=22474>

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

### Вопросы самоконтроля знаний.

1. Нормальная земная система координат.
2. Траекторная система координат.
3. Связанная система координат.
4. Полускоростная система координат.
5. Полусвязанная система координат.
6. Нормальная артиллерийская атмосфера.
7. Полная аэродинамическая сила, центр давления.
8. Классификация составляющих сил и моментов аэродинамических коэффициентов.
9. Баллистическая форма записи аэродинамических коэффициентов.
10. Закон движения центра масс снаряда в инерциальной системе координат.
11. Закон движения центра масс снаряда в неинерциальной системе координат.
12. Закон движения момента импульса снаряда в инерциальной системе координат.
13. Закон движения момента импульса снаряда в неинерциальной системе координат.
14. Классификация математических моделей движения снарядов.
15. Уравнения движения центра масс снаряда в траекторной системе координат.
16. Общая модель движения снаряда в однородном поле силы тяжести.
17. Приближенные методы решения основного уравнения нутационного колебания.
18. Влияние движения около центра масс на движение центра масс.
19. Методики нахождения коэффициента силы лобового сопротивления.
20. Определение аэродинамического коэффициента опрокидывающего момента.
21. Определение аэродинамического коэффициента нормальной составляющей силы сопротивления воздуха.
22. Определение аэродинамического коэффициента продольного демпфирующего момента и момента Магнуса.
23. Определение крутизны нарезов ствола орудия, необходимой для обеспечения требуемой угловой скорости вращения снаряда.
24. Методы определения величины дериационного отклонения

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Степанов В.П. Внешняя баллистика. Ч.2. Томск, изд. ТГУ, 2011, 540 с. URL <http://ftf.tsu.ru/node/788> (дата обращения: 23.04.2015).

1. Кирилин А. Н. Проектирование, динамика и устойчивость движения ракет-носителей: методы, модели, алгоритмы, программы в среде MathCad / А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, А. В. Соллогуб. – М.: Машиностроение [и др.], 2013. – 294 с.

2. Иванов В. А. Орбитальное функционирование связанных космических объектов: учебное пособие / В. А. Иванов, С. А. Купреев, В. С. Ручинский; под ред. В. А. Иванова. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 319 с.

3. Лысенко Л. Н. Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов / Л. Н. Лысенко, В. В. Бетанов, Ф. В. Звягин; под общ. ред. Л. Н. Лысенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 518 с.

б) дополнительная литература

1. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях. Под ред. Н.А. Златина, Г.И. Мишина. М.: изд. «Наука», 1974, 344 с.

2. Коновалов А.Н., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика. М.: изд. ЦНИИ информации,

1979, 227 с.

3. Доу Р.Б. Основы теории современных снарядов. М.: изд. «Наука», 1964, 566 с.

4. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 438 с.

5. Нестационарная аэродинамика баллистического полета / Ю. М. Липницкий, А. В. Красильников, А. Н. Покровский, В. Н. Шманенков. – М.: Физматлит: Наука / Интерпериодика, 2003. – 174 с.

6. Космодемьянский А. А. Динамика космического полета / А. А. Космодемьянский. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011. – 244 с.

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 OneNote, 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