

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

Физико-технический факультет



Ю.Н. Рыжих

20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Численные методы в аэродинамике**

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.03.01

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

**Численные методы в аэродинамике**

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.03.01

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:

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-4 Способен к проведению научных исследований в целях поиска методик решения баллистических задач создания новых объектов и систем.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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 4.1 Знает математические методы разработки алгоритмов моделирования движения летательных аппаратов

ИПК 4.2 Умеет формулировать аспекты задач исследования, выбирать методы их решения и представлять результаты исследований

ИПК 4.3 Осуществляет разработку алгоритмов решения задач динамики, баллистики и управления полетом объектов

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Овладение студентами фундаментальными основами знаний теории и практики исследований в области аэродинамики, методами расчета движения газа около твердого недеформируемого тела при до - и сверхзвуковых скоростях в рамках различных газодинамических подходов с определением области применения того или иного метода, методами расчета сил и моментов, действующих на летательный аппарат во время полета.

– Подготовка их к решению комплекса задач, связанных с построением математических моделей и определением характеристик летательных аппаратов, 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, предлагается обучающимся на выбор.

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

Первый семестр, экзамен

## **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: 10 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

**Тема 1.** Задачи исследования течений газа около твердого тела.

Соотношение газодинамического и экспериментального подходов.

Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем

тело. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.

**Тема 2.** Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов". Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.

**Тема 3.** Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик. Схема Решения газодинамических задач методом характеристик.

**Тема 4.** Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа, Годунова. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу.

**Тема 5.** Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание

тел. Свойства аэродинамических производных. Приближенные методы определения

нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

## **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, указанных в п.1.

### **Темы рефератов**

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.

2. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.

3. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.

4. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".

5. Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.

6. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик.

7. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.
8. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик.
9. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.
10. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость.
11. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа.
12. Схема С.К. Годунова.
13. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу.
14. Метод "крупных частиц". Эйлера и Лагранжевы этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы.
15. Вычислительная устойчивость метода. Аппроксимационная вязкость.
16. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.
17. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

**Экзамен в первом семестре** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Образцы контрольных билетов.

Билет №1.

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов.
2. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.

Билет №2.

1. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.
2. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость

Билет №3.

1. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия
2. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа

Билет №4.

1. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".
2. Схема С.К. Годунова

Билет №5.

1. Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов
2. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу

Билет №6.

1. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик
2. Метод "крупных частиц". Эйлера и Лагранжевы этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы.

Билет №7.

1. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.
2. Вычислительная устойчивость конечно-разностных методов. Аппроксимационная вязкость

Билет №8.

1. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик
2. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.

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 практических занятий.

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

<b>Уровень</b>	<b>Качество ответов при собеседовании</b>	<b>Оценка</b>
1	Не ответил на вопросы полностью	неудовлетворительно
2	Фрагментарные ответы на основные и дополнительные вопросы. Оценка выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.	неудовлетворительно
3	Формальные ответы на основные вопросы, слабое понимание физической сути при ответах на дополнительные вопросы. Оценка выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия, допустившему неточности в построении физической модели или ее программной реализации	удовлетворительно
4	Ответы на основные вопросы с замечаниями. Имеются разного уровня замечания по дополнительным вопросам. Оценка выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему некритичные неточности в построении модели.	хорошо
5	Ответы на основные и дополнительные вопросы без существенных замечаний. Оценка выставляется студенту, способному	отлично

	самостоятельно принимать решения, оценивать их эффективность, обосновывать принятые решения и реализовывать их с помощью информационных технологий	
--	--	--

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22477>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

### Вопросы самоконтроля знаний.

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.
2. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.
3. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.
4. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".
5. Метод "ньютонова торможения". Ограничения приближенных аналитических методов.
6. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик.
7. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.
8. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик.
9. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.
10. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Искусственная вязкость.
11. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа.
12. Схема С.К. Годунова.
13. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Подход Эйлера-Лагранжа-Харлоу.
14. Метод "крупных частиц". Эйлера и Лагранжевы этапы расчета. Граничные условия. Свободные и контактные границы.
15. Вычислительная устойчивость метода. Аппроксимационная вязкость.
16. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.
17. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:

1. Богоряд И.Б. Введение в динамику ракет. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 2013. – 136с. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000467066/SOURCE1> (дата обращения: 06.04.2015).
2. Зализняк В. Е. Численные методы. Основы научных вычислений: учебник и практикум / В. Е. Зализняк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2016. – 356 с. – Режим доступа ЭБС Лань: <https://www.biblio-online.ru/book/95164B7A-CFD6-4F43-9CF8-02E9A7B707BE>

3. Абакумов М. В. Лекции по численным методам математической физики: учебное пособие / М. В. Абакумов, А. В. Гулин; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Факультет вычислительной математики и кибернетики. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 157 с.: ил. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=364601>

4. Башкин В. А. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики / В. А. Башкин, И. В. Егоров. – М.: Физматлит, 2013. – 331 с.

б) дополнительная литература

1. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики : [учебное пособие для вузов] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – Изд. 5-е, стереотип. – М.: Наука, 1977. – 735 с.: ил.

2. Рихтмайер Р. Разностные методы решения краевых задач / Р. Рихтмайер, К. Мортон; под ред. Б. М. Будака, А. Д. Горбунова. – М.: Мир, 1972. – 418с.

3. Ковеня В. М., Яненко Н.Н. Метод расщепления в задачах газовой динамики / В. М. Ковеня, Н. Н. Яненко; отв. ред. Ю. И. Шокин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 304с.

4. Рихтмайер Р. Принципы современной математической физики / Р. Рихтмайер; пер. с англ. В. Е. Кондрашова и др. ; под ред. И. Д. Софронова. – М.: Мир, 1982. – 486 с.

5. Арсенин В. Я. Методы математической физики и специальные функции: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Наука, 1974. – 432 с.: ил.

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,**

Биматов Владимир Исмагилович, док. физ.-мат. наук, профессор каф. Динамики полета.

