

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Численные методы орбитальной динамики

по направлению подготовки

09.03.02 Информационные системы и технологии

Профиль подготовки

Цифровая астрономия и геоинформационные системы

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер-разработчик информационных технологий

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.М.Сюсина

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

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 разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения в области информационных систем и технологий.

Результатами освоения дисциплины являются:

- РООПК-1.1. Знает высшую математику, методы математического анализа и аналитической геометрии, теорию вероятностей, математическую статистику, вычислительную математику;
- РООПК-1.2. Умеет решать задачи профессиональной деятельности с применением математических методов анализа, моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- РООПК-5.3. Умеет разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы для практического применения.

2. Задачи освоения дисциплины

- Ознакомить студентов с широко применяемыми на практике численными методами небесной механики и астродинамики;
- Развить навыки в реализации численных методов для решения прямых и обратных задач орбитальной динамики.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

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

Семестр 9, 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 (модуля)

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

- лекции: 8 ч.;
- семинарские занятия: 0 ч.
- практические занятия: 24 ч.;
- лабораторные работы: 0 ч.

в том числе практическая подготовка: 20 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Численное моделирование орбитального движения

Численные методы прямых и обратных задач орбитальной динамики. Численное моделирование. Эффективность численного моделирования.

Тема 2. Метод разложения в ряд Тейлора

Метод разложения в ряд Тейлора. Метод Стефенсона.

Тема 3. Методы Рунге–Кутты

Первые методы Рунге–Кутты. Явные методы Рунге–Кутты. Условия порядка. Оценка методической погрешности. Выбор величины шага интегрирования. Экстраполяция Рундсена. Вложенные методы Рунге–Кутты. Неявные методы Рунге–Кутты. Коллокационные методы. Методы Гаусса. Метод Эверхарта. Порядок и величина шага интегрирования при компьютерной реализации метода.

Тема 4. Экстраполяционные методы

Общий подход. Алгоритм Эйткена–Невилла. Метод Грегга–Булирша–Штера. Выбор величины шага интегрирования.

Тема 5. Многошаговые методы

Методы Адамса. Формулы дифференцирования. Реализация неявных методов. Схема предиктор–корректор. Линейные многошаговые методы. Условия порядка многошаговых методов. Устойчивость по Далквисту. Наивысший достижимый порядок для устойчивых методов. Оценка локальной погрешности. Формула Милна. Выбор величины шага интегрирования.

Тема 6. Геометрические методы

Уравнения гармонического осциллятора. Негеометричность методов Эйлера. Модифицированные методы Эйлера. Проекционный метод. Простые симплектические и симметричные методы. Метод Штермера–Верле. Методы Йошиды. Методы Гаусса и многошаговые методы как геометрические. Особенности в реализации симплектических методов.

Тема 7. Определение орбит из наблюдений

Обратная задача орбитальной динамики. Модельные представления наблюдений. Предварительное определение орбиты. Изохронные производные. Методы решения обратной задачи. Метод градиентного спуска. Метод Ньютона. Метод Гаусса–Ньютона. Демпфирование. Метод Левенберга–Марквардта. Овражные методы. Эффективность методов решения обратной задачи. Проблема неоднозначного определения орбит.

Тема 8. Задача наименьших квадратов, ее геометрия и доверительное оценивание

Тема 9. Стохастическое моделирование параметрической неопределенности

Линейные и нелинейные методы стохастического моделирования доверительной области и облака неопределенности

Тема 10. Показатели нелинейности обратной задачи

Показатели полной, параметрической и внутренней нелинейности

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнение практического задания, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Успешное выполнение практического задания является результатом освоения дисциплины по индикаторам РООПК-1.2., РООПК-5.3. В практическом задании необходимо программно реализовать один из рассмотренных в лекциях методов численного интегрирования орбит 8-го порядка с постоянным шагом: явный метод Рунге–Кутты; коллокационный метод Рунге–Кутты на разбиении Гаусса–Лобатто; экстраполяционный метод Грэгга–Булирша–Штера; многошаговый метод Адамса–Мульттона–Башфорта; геометрический метод Йошиды. Студенты должны написать код интегратора, провести тестирование и исследовать его эффективность в круговой задаче двух тел. Язык программирования выбирается по желанию студентов. Практическая задача считается выполненной, если программная процедура численного интегрирования (интегратор) прошла тестирование и полученные практические результаты отвечают теоретическим.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов по темам лекций. Продолжительность экзамена 1.5 часа. На экзаменах проверяются результаты освоения дисциплины по индикаторам РООПК-1.1. Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оцениваются ответы на два основных теоретических вопроса и ответы на дополнительные к ним вопросы. Баллы за ответ на вопрос: 5 — правильный; 4 — неполный; 3 — фрагментарный; 2 — отсутствует.

Оценка «отлично» выставляется, если общий балл — 19–20. Оценка «хорошо» выставляется, если общий балл — 16–18, причем среди оценок вопросов допускается одна оценка 3 при отсутствии оценок 2. Оценка «удовлетворительно» выставляется, если общий балл — 12–15, причем среди оценок вопросов допускается одна оценка 2. Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если среди оценок вопросов две оценки 2 и более.

Примеры вопросов к билетам

1. Численное моделирование орбитального движения
2. Метод разложения в ряд Тейлора
3. Явные методы Рунге–Кутты. Условия порядка
4. Оценка методической погрешности в методах Рунге–Кутты и выбор величины шага интегрирования
5. Экстраполяция Ричардсона. Вложенные методы Рунге–Кутты
6. Неявные методы Рунге–Кутты. Коллокационные методы
7. Методы Гаусса. Метод Эверхарта
8. Экстраполяционные методы
9. Многошаговые методы Адамса и Гира
10. Реализация неявных методов. Схема предиктор–корректор
11. Линейные многошаговые методы. Условия порядка многошаговых методов
12. Оценка локальной погрешности в многошаговых методах. Формула Милна. Выбор величины шага интегрирования
13. Геометрические методы. Негеометричность методов Эйлера. Модифицированные методы Эйлера
14. Проекционный метод. Простые симплектические и симметричные методы
15. Метод Штермера–Верле. Методы Йошиды

16. Обратная задача орбитальной динамики. Модельные представления астрометрических наблюдений
17. Предварительное определение орбиты
18. Изохронные производные. Методы решения обратной задачи
19. Метод градиентного спуска. Метод Ньютона. Метод Гаусса–Ньютона
20. Метод Левенберга–Марквардта. Овражные методы
21. Задача наименьших квадратов, ее геометрия и доверительное оценивание
22. Стохастическое моделирование параметрической неопределенности
23. Показатели нелинейности обратной задачи

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в «Среде электронного обучения iDO»
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
 1. Авдюшев В.А. Численное моделирование орбит небесных тел. Издательский Дом Томского государственного университета. 2015.
- б) дополнительная литература:
 1. Hintz G. Orbital Mechanics and Astrodynamics. Springer. 2015
 2. Gurfil P., Seidelmann P.K. Celestial Mechanics and Astrodynamics: Theory and Practice. Springer. 2016.
 3. Veris A. Practical Astrodynamics. Springer. 2018.
 4. Montenbruck O., Gill E. Satellite Orbit. Springer. 2001.
- в) ресурсы сети Интернет:
 - <http://astro.tsu.ru/OsChMet/>
 - <http://astro.tsu.ru/ChIntODY/>
 - <https://ui.adsabs.harvard.edu>
 - Материально-информационная база Научной библиотеки ТГУ

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 (GoogleDocs, 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

Авдюшев Виктор Анатольевич, д.ф.-м.н., Томский госуниверситет, профессор