

# Годовой курс «Моделирование управляемого углового движения КА» (7-8 семестры бакалавриата)

Курс составили: Маштаков Ярослав Владимирович, м.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН  
Ткачёв Степан Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Лекции читают: Маштаков Ярослав Владимирович, м.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН  
Ткачёв Степан Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Отчётность: осенний семестр – дифференцированный зачёт, весенний семестр – экзамен

Контакты: [yarmashtakov@gmail.com](mailto:yarmashtakov@gmail.com), +7 (499) 220-79-29, [stevens\\_l@mail.ru](mailto:stevens_l@mail.ru), +7 (499) 220-79-29

## Разделы первой части курса

1. Задача двух тел. Модели орбитального движения. Динамика твёрдого тела  
Уравнение Кеплера. Оскулирующие и равноденственные элементы. Эфемериды. Модель SGP4, двустрочные элементы (TLE). Кинематика твёрдого тела в кватернионах и матрицах направляющих косинусов.
2. Использование аналитических результатов исследований для верификации построенной модели движения КА  
Обзор результатов аналитического исследования уравнений движения спутника. Использование первых интегралов систем дифференциальных уравнений для верификации программной реализации математических моделей. Основные теоремы теории устойчивости.
3. Модели взаимодействия внешней среды и КА  
Конкретные примеры моделей внешней среды: гравитационного поля (центральное поле, учёт дополнительных гармоник), магнитного поля (IGRF, наклонный и прямой диполи), атмосферы (экспоненциальная модель, ГОСТ, CIRA), модели солнечного воздействия. Особенности моделирования с учётом этих воздействий.

## Разделы второй части курса

1. Подходы к построению алгоритмов управления ориентацией  
Использование прямого метода Ляпунова для управления угловым движением КА. Скользящее управление. Демпфирование спутника при помощи магнитных катушек.
2. Методы моделирования и обработки измерений  
Случайные (шумы) и систематические (сдвиг нуля, неправильная установка датчика, воздействие внешних возмущений) ошибки. Моделирование работы датчиков с учётом этих ошибок. Программная реализация локальных методов обработки измерений, метода наименьших квадратов, фильтра Калмана.
3. Особенности моделирования системы управления ориентацией КА  
Особенности работы гироскопических и магнитных исполнительных органов. Проблема насыщения маховиков, проблема сингулярности и методы её обхода при применении гироскопов.

Итоговая оценка (по десятибалльной шкале) складывается из баллов, полученных за решение задач по каждому из разделов курса.

### **Литература по курсу**

- 1) Раушенбах Б.В., Овчинников М.Ю. Лекции по механике космического полёта: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 1997. – 188 с.
- 2) Мирер С.А. Механика космического полёта. Орбитальное движение. – М.: Резолит, 2007. – 270 с.
- 3) Маркеев А.П. Теоретическая механика: Учебник для университетов. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с.
- 4) Овчинников М.Ю., Дегтярев А.А. Применение компьютерных технологий при изучении теоретической механики и исследовании динамики сложных механических систем: Учебно-методическое пособие. – М.: МФТИ, 2007. – 56 с.
- 5) Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1975. – 284 с.
- 6) Белецкий В.В., Яншин А.М. Влияние аэродинамических сил на вращательное движение искусственных спутников. – Киев: Наукова думка, 1984. – 188 с.
- 7) Vallado, D.A. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. – Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers, 2001. – 958 p.
- 8) Wie, B. Space Vehicle Dynamics and Control. – AIAA Education Series, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2008. – 966 p.