

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

УТВЕРЖДЕНА

Решением научно-технического совета
протокол № 1 от «24» января 2022 г.

Председатель НТС, первый проректор -
проректор по научно-исследовательской
работе _____ А.Б. Прокофьев

Ученый секретарь НТС
_____ Л.В. Родионов

**ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по научной специальности
**2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов**

Введение

В основу настоящей программы положены следующие фундаментальные дисциплины: теоретическая механика; небесная механика; теория поля; теория устойчивости; управление в технических системах; теория вероятности и математическая статистика; теория оптимальных систем, системный анализ.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по авиационно-космической и ракетной технике при участии МАИ (ТУ) им. С. Орджоникидзе и МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦНИИ машиностроения и ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского.

1. Общие положения и принципы динамики полёта и управления движением летательных аппаратов (ЛА)

1.1. Исходные понятия и определения. Объект исследования и его математическая модель. Состояние баллистического и управляемого ЛА. Параметры управления. Возмущающие воздействия. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. Качество управления и показатели качества.

1.2. Основные принципы исследования баллистического и управляемого полёта. Принцип обратной связи. Принципы управления начальным, текущим и конечным состоянием. Принцип декомпозиции движений. Принцип независимого (автономного) управления. Принцип оптимальности.

1.3. Системы координат и углы, определяющие положение ЛА в пространстве. Общая характеристика систем координат. Определение взаимной ориентации систем координат. Координатные преобразования.

2. Внешние условия полёта

2.1. Влияние поля тяготения Земли и её вращения на движение ЛА. Потенциал силы земного тяготения, форма и размеры Земли. Потенциал силы тяжести. Влияние вращения Земли на полёт.

2.2. Земная атмосфера и её свойства. Структура атмосферы. Классификация слоёв атмосферы. «Стандартные» атмосферы. Упрощённые «законы» изменения параметров атмосферы по высоте.

3. Силы и моменты, действующие на ЛА в полёте

3.1. Аэродинамические силы и моменты. Составляющие полной аэродинамической силы и полного аэродинамического момента. Приведение аэродинамических сил и моментов к эталонным (типовым) функциям.

3.2. *Сила тяги, сила тяжести, дополнительные и управляющие силы и моменты.* Реактивная сила. Сила тяги. Сила тяжести и её проекции. Дополнительные силы и моменты. Газодинамические и аэродинамические управляющие силы и моменты.

4. Теоретические основы составления математических моделей движения ЛА

4.1. *Классификация и формы представления математических моделей.* Принципы составления уравнений движения. Летательный аппарат как динамическая система. Возможные виды математических моделей. Уравнение Мещерского. Основные теоремы динамики тел переменной и постоянной масс, принцип затвердевания. Векторные уравнения поступательного движения ЛА как тела переменной массы. Уравнения вращательного движения ЛА. Проекция векторных уравнений на нормаль и касательную к траектории. Линеаризация уравнений движения ЛА.

4.2. *Дифференциальные уравнения движения.* Уравнения пространственного движения ЛА на активном участке траектории. Уравнения свободного движения ЛА постоянной массы в плотных слоях атмосферы. Уравнения продольного и бокового движения ЛА в центральном гравитационном поле. Уравнения движения ЛА в плоскопараллельном гравитационном поле. Уравнения движения ЛА при перегрузках. Уравнения, описывающие свободное движение центра масс ЛА без учёта сопротивления внешней среды. Уравнения относительного движения космических аппаратов. Уравнения движения спускаемых аппаратов в атмосферах планет.

5. Исследование математических моделей движения ЛА. Методы решения задач баллистики и динамики полёта

5.1. *Устойчивость движения ЛА.* Общие понятия об устойчивости движения. Первый метод Ляпунова. Устойчивость по первому приближению. Второй метод Ляпунова. Техническая устойчивость. Статическая и динамическая устойчивость при продольном и боковом движении. Устойчивость движения быстровращающихся ЛА.

5.2. *Численное интегрирование уравнений движения ЛА.* Методы численного интегрирования и их применение при решении задач динамики полёта. Точность расчётов и выбор шага интегрирования. Программное обеспечение численных расчётов.

5.3. *Приближённые аналитические, графоаналитические и табличные методы решения.* Параболическая теория. Эллиптическая теория. Применение метода аналитических функций для описания силы сопротивления внешней среды. Метод псевдоскорости. Основные и вспомогательные функции. Подобие траекторий и табличные методы решения. Графоаналитический метод расчёта активного участка баллистических ракет.

5.4. *Оптимизационные задачи баллистики.* Двухточечные краевые задачи. Постановка задачи определения многоточечной кривой в краевых задачах управляемого полёта. Обратные задачи баллистики. Экстремальные задачи программирования опорного движения. Постановка

и классификация задач вариационного исчисления и оптимального управления. Оптимальное программирование опорного движения на основе методов классического вариационного исчисления. Определение оптимального управления движением ЛА на основе принципа максимума и метода динамического программирования.

5.5. *Исследование углового движения. Стабилизация углового движения. Методы стабилизации. Достаточные условия устойчивости углового движения ЛА различного назначения. Устойчивость резонансных режимов вращения. Движение ЛА при входе в атмосферу. Качественный анализ углового движения ЛА при входе и движении в атмосфере.*

5.6. *Методы наведения ЛА на подвижные цели. Кинематический анализ свойств траекторий наведения. Методы самонаведения: метод погони, наведение с упреждением, параллельное сближение, пропорциональное наведение, метод прямого наведения. Методы теленаведения: угловой метод наведения, наведение по методу совмещения. Промах ЛА при наведении на подвижную цель.*

5.7. *Инерциальная навигация и наведение баллистических ракет (БР) и головных частей (ГЧ). Методы решения уравнений навигации в платформенных и бесплатформенных инерциальных навигационных системах (ИНС). Общая характеристика методов наведения БР и ГЧ. Математическое содержание задач наведения. Методы определения программ управления в функциональном методе наведения. Управление отделением ГЧ в функциональном методе наведения. Наведение по методу текущей требуемой скорости. Наведение по методу конечной требуемой скорости. Наведение по методу требуемых ускорений.*

5.8. *Орбитальное движение и баллистико-навигационное обеспечение полёта космических аппаратов (КА). Расчёт параметров невозмущённого орбитального движения. Определение орбиты по заданным условиям движения. Определение орбиты по данным внешнетраекторных измерений. Прогнозирование движения КА. Корректирующие манёвры. Манёвры сближения и встреча КА на орбите. Навигационное обеспечение и автономная навигация при выполнении межорбитальных манёвров. Межпланетные перелёты. Баллистическое проектирование орбитальных структур спутниковых систем. Методические особенности решения баллистико-навигационных задач при оперативном управлении полётом КА.*

6. Возмущённое движение ЛА. Статистическая динамика полёта и определение характеристик

6.1. *Теория дифференциальной коррекции («теория поправок») и расчёт возмущённых траекторий. Общая характеристика возмущений и возмущённого движения. Методы определения баллистических производных. Методы определения полных (изофункциональных) отклонений параметров движения.*

6.2. *Учёт влияния параметров атмосферы на движение ЛА.* Способы учёта влияния отклонений метеофакторов на движение ЛА. Баллистический средний ветер и баллистическое отклонение температуры. Метеорологическая подготовка пуска ЛА.

6.3. *Орбитальное возмущённое движение.* Задача n -тел и методы её решения. Ограниченная задача трёх тел. Гравитационные сферы. Метод оскулирующих элементов. Возмущения, вызываемые нецентральностью поля тяготения Земли, сопротивлением атмосферы, давлением солнечного света. Влияние начальных возмущений на движение искусственного спутника Земли по круговой орбите. Время существования КА на орбите.

6.4. *Методы статистической динамики полёта, рассеивание ЛА.* Методы априорного статистического анализа движения ЛА. Определение характеристик рассеивания методом статистических испытаний.

7. Основы экспериментальной баллистики

7.1. *Методы и основные задачи экспериментальной баллистики.* Общая характеристика стрельб на баллистических трассах. Определение скорости движения снаряда (либо модели) стрельбой на баллистической трассе. Определение коэффициента лобового сопротивления, аэродинамических коэффициентов нормальной силы и опрокидывающего момента.

7.2. *Полигонные стрельбы и лётные испытания.* Определение параметров движения снаряда по данным полигонных испытаний. Планирование лётного баллистического эксперимента. Методы обработки результатов измерений. Идентификация параметров ЛА по данным полигонных стрельб и лётных испытаний.

Основная литература

1. Кирилин, А.Н. Космическое аппаратостроение: научно-технические исследования и практические разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» / А.Н. Кирилин, Г.П. Аншаков, Р.Н. Ахметов, А.Д. Сторож. Под ред. д.т.н. А.Н. Кирилина. – Самара: Издательский дом «АГНИ», 2011. – 280 с. Экземпляров всего: 47.
2. Динамика полета [Текст] : [учеб. для вузов по направлению подгот. 652500 "Гидроаэродинамика и динамика полета"] / А. В. Ефремов [и др.] ; под ред. Г. С. Бюшгенса. - М. : Машиностроение, 2011. - 775 с. Экземпляров всего: 58.

Дополнительная литература

1. Бузулук, В.И. Оптимизация траекторий движения аэрокосмических летательных аппаратов. – М.: ЦАГИ, 2008. – 476 с. Экземпляров всего: 1 (на кафедре).
2. Кирилин, А.Н. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии / А.Н. Кирилин,

- Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с. Экземпляров всего:1 (на кафедре).
3. Соловьёв, В.А. Управление космическими полетами : учеб. пособие : в 2 ч. / В.А. Соловьёв, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – Ч. 1. Экземпляров всего: 1.
 4. Соловьёв, В.А. Управление космическими полетами : учеб. пособие : в 2 ч. / В.А. Соловьёв, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – Ч. 2. Экземпляров всего: 1.
 5. Лазарев, Ю.Н. Управление траекториями аэрокосмических аппаратов. – Самара: Самар. научн. центр РАН, 2007. – 274 с. Экземпляров всего: 5.
 6. Лысенко, Л.Н. Наведение и навигация баллистические ракет: [Учебн. пособие для вузов по направлению подгот. «Ракетостроение и космонавтика» и «Гидроаэродинамика и динамика полёта»] / Л.Н. Лысенко. – М.: Изд-во МГТУ, 2007. – 670 с. Экземпляров всего: 21.
 7. Оптимальное управление непрерывными динамическими системами [Текст] : [учеб. пособие] / Ю. М. Заболотнов ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара: Изд-во СГАУ, 2006. - 146 с. - Экземпляров всего:10.
 8. Вариационное исчисление и методы оптимизации [Текст] : [учеб. пособие по мат. специальностям и направлений подгот. ун-тов] / Е. А. Андреева, В. М. Цирулева. - М.: Высш. шк., 2006. - 584 с. - Экземпляров всего:10.
 9. Оптимальное управление движением: [учеб. пособие по группе направлений и специальностей механики]/ В. В. Александров, В. Г. Болтянский, С. С. Лемак [и др. ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова]. - М. : Физматлит, 2005. - 374 с. - (Классический университетский учебник/ ред. совет: В. А. Садовничий (пред.) и др.). Экземпляров всего:40.
 10. Теория вероятностей: [учеб. для вузов] / Е. С. Вентцель. - 11-е изд., стер. - М.: КНОРУС, 2010. - 658 с. - (Technology). Экземпляры: всего:2.