

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П.Королева



«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный конструктор
академик РАН
Е.А. Микрин
июля 2018 г.

ПРОГРАММА


**кандидатского экзамена по направлению подготовки научно-педагогических кадров
в аспирантуре**

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

**направленность 05.07.09. Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов**

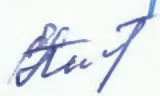
Рабочая программа сформирована в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника (приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 № 890), Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (приказ Минобрнауки России от 19.11.2013 № 1259).

Составитель:
д.т.н., профессор



Борзых С.В..

Согласовано:



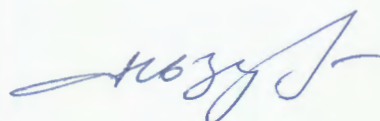
Заведующая аспирантурой

Потрываева Е.В.

Рабочая программа рассмотрена на заседании секции НТС «Подготовка научных кадров»

Протокол № 4/2018 от 17.07.2018

/ Председатель секции НТС
«Подготовка научных кадров»



Лукьяшко А.В.

Таблица переутверждения рабочей программы

Год утверждения (переутверждения)				
Председатель (заместитель председателя секции НТС) ФИО, ученая степень				
Подпись				
Номер и дата протокола заседания секции НТС	Протокол № от _____	Протокол № от _____	Протокол № от _____	Протокол № от _____

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа предназначена для проведения кандидатского экзамена по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», по направленности «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» в аспирантуре «РКК «Энергия».

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов; оптимизация траекторий космических аппаратов, оптимальное управление движением космических аппаратов; динамика мягкой посадки космических аппаратов; динамика переходных процессов космических аппаратов как структурно-сложных механических систем.

На экзамене по направленности «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» аспирант должен продемонстрировать умение использовать методы математического анализа для решения задач; составлять расчетную схему процесса и записи уравнения движения; выполнять расчет динамического состояния летательного аппарата; показать навыки выбора рациональных параметров систем, обеспечивающих устойчивое и безопасное движение летательного аппарата.

Указанные знания и умения аспирант приобретает в процессе освоения дисциплин учебного плана подготовки аспирантов по направленности.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Раздел 1 Общие вопросы динамики полета и управления движением летательных аппаратов

Летательный аппарат (ЛА) как структурно-сложная динамическая управляемая система. Параметры управления. Случайные и систематические возмущающие факторы при движении ЛА. Устойчивость и управляемость движения. Качество управления и показатели качества.

Способы выбора систем координат упругого ЛА: локально связанная, главная, система Тиссерана, средняя, система нулевых форм. Кинематические соотношения углового движения. Устранение неопределенностей при получении матриц перехода между системами координат.

Принцип декомпозиции движений. Принцип обратной связи. Управление начальным, текущим и конечным состоянием. Автономное управление ЛА. Принцип оптимальности.

Раздел 2. Внешние условия полета ЛА

Время и его измерение. Системы координат. Модель Земли и поля земного тяготения. Учет влияния вращения Земли на полет ЛА и ракетно-космических комплексов.

Структура земной атмосферы. Модели изменения параметров атмосферы по высоте. «Стандартные» атмосферы. Поля тяготения планет солнечной системы.

Раздел 3. Силы и моменты, действующие на ЛА в полете

Сила тяги маршевого двигателя ЛА, закон ее изменения по времени и по высоте. Эксцентриситет силы тяги. Отклонения и случайные скачки силы тяги.

Сила тяжести, модель ее изменения по высоте.

Аэродинамические силы (сила лобового сопротивления, подъемная сила.)
Аэродинамическое качество. Моменты аэродинамических сил, центр давления.

Демпфирующие аэродинамические моменты. Аэродинамические коэффициенты, способы их определения.

Дополнительные моменты, обусловленные движением жидкости в магистралях, на заатмосферном участке полета.

Управляющие силы и моменты. Силы и моменты газоструйных рулей. Аэродинамические управляющие силы и моменты. Силы и моменты поворотных управляющих двигателей.

Раздел 4. Общетеоретические основы моделирования движения ЛА

Способы составления уравнений движения летательного аппарата. Классификация математических моделей. Развитие динамических расчетных схем.

Общие теоремы динамики для тел постоянной и переменной массы. Область задач, для которых применим принцип затвердевания. Уравнения поступательного движения полюса связанной системы координат ЛА в векторной и координатной форме. Уравнения вращения связанных подвижных осей ЛА относительно инерциальных.

Уравнения движения ЛА на активном участке траектории. Уравнения продольного и бокового движения ЛА в центральном гравитационном поле. Уравнения наведения.

Уравнения относительного движения ЛА. Составляющие сил инерции переносного движения и силы Кориолиса при записи уравнений относительного движения в неинерциальной системе координат. Примеры задач исследования относительного движения: ЛА.

Уравнения движения ЛА на участке спуска для планет с атмосферой и для случая отсутствия атмосферы. Виды и модели тормозных устройств.

Упругий летательный аппарат как объект управления. Твердые и упругие формы колебаний. Уравнение упругих относительных колебаний в операторной форме. Приведение гибридных систем уравнений движения упругого летательного аппарата к ограниченному набору простейших осцилляторов.

Раздел 5. Исследование математических моделей движения ЛА. Методы решения задач баллистики, управления и динамики полета.

Устойчивость движения ЛА. Асимптотическая устойчивость (по Ляпунову). Техническая устойчивость. Статическая и динамическая устойчивость при продольном и боковом движении. Устойчивость движения ЛА, стабилизированного вращением относительно одной из осей. Устойчивость ротационного движения ЛА с упругими элементами.

Устойчивость упругого ЛА с учетом поперечных колебаний корпуса. Динамическая блок-схема упругого ЛА. Передаточные функции и характеристические уравнения системы «Твердый объект + N колебательных звеньев». Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики колебательного звена. Итоговая диаграмма устойчивости системы. Определение областей устойчивости на основании частотных критериев.

Устойчивость ЛА с полостями, частично заполненными жидкостью. Поперечные колебания жидкости. «Присоединенные» колебательные звенья. Амплитудная и фазовая стабилизация. Дополнительные требования к автомату стабилизации, обусловленные колебаниями жидкости в баках. Устойчивость замкнутой системы с идеальным регулятором.

Продольные автоколебания в замкнутой гидроупругой системе «корпус ЛА – топливная магистраль - двигатель». Методы оценки устойчивости: метод D-разбиений, метод частотных характеристик, метод корневого годографа.

Методы численного интегрирования уравнений движения ЛА. Специализированные программные комплексы для расчета задач динамики, баллистики, управления движением.

Приближенные аналитические, графоаналитические методы решения задач баллистики. Параболическая теория, эллиптическая теория. Графоаналитический метод расчета активного участка баллистических ракет Лаврова – Аппазова - Мишина.

Оптимизационные задачи баллистики. Двухточечные краевые задачи. Постановка задачи определения многоточечной кривой в краевых задачах управляемого полета. Обратные задачи баллистики.

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

Методы стабилизации углового движения. Достаточные условия устойчивости. Устойчивость резонансных режимов вращения. Движение ЛА при входе в атмосферу. Качественный анализ углового движения ЛА при входе в атмосферу.

Методы решения уравнений навигации в платформенных и бесплатформенных инерциальных навигационных системах. Математическое содержание задач наведения. Методы определения программ управления в функциональном методе наведения. Наведение по методу текущей требуемой скорости. Наведение по методу конечной требуемой скорости. Наведение по методу требуемых ускорений.

Расчет параметров невозмущенного орбитального движения. Определение орбиты по заданным условиям движения. Определение орбиты по данным внешнетраекторных измерений. Прогнозирование движения КА. Орбитальное маневрирование. Импульсное представление маневров. Корректирующие маневры. Орбитальные маневры с малой тягой. Маневры сближения и встреча КА на орбите. Навигационное обеспечение и автономная навигация при выполнении межорбитальных маневров. Межпланетные перелеты. Баллистическое проектирование орбитальных структур спутниковых систем. Методические особенности решения баллистико-навигационных задач при оперативном управлении полетом КА.

Раздел 6. Возмущенное движение ЛА. Статистическая динамика полета и определение характеристик

Общая характеристика возмущений и возмущенного движения. Методы определения баллистических производных. Методы определения полных (изофункциональных) отклонений параметров движения.

Способы учета влияния отклонений метеофакторов на движение ЛА. Баллистический средний ветер и баллистическое отклонение температуры. Метеорологическая подготовка пуска ЛА.

Задача n -тел и методы ее решения. Ограниченная задача трех 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. Особые виды орбит ИСЗ.

Методы априорного статистического анализа движения ЛА. Определение характеристик рассеивания методами статистических испытаний.

Раздел 7. Основы экспериментальной баллистики

Планирование летного баллистического эксперимента. Методы обработки результатов измерений. Идентификация параметров ЛА по данным летных испытаний.

Раздел 8. Динамика переходных процессов КА и ракет

Классификация процессов разделения ступеней ЛА по расчетным случаям и типам моделей. Уравнения движения разделяемых ракетных блоков. Зависимости для определения приращений линейных и угловых скоростей. Баланс энергий.

Схемы разделения, Горячее и холодное разделение. Продольное и поперечное разделение. Силы и моменты, действующие на разделяемые тела.

Отделение за пределами атмосферы. Динамика отделения ИСЗ, космических аппаратов и головных частей ракет. Стабилизация и увод разгонных блоков. Динамика сброса обтекателей, хвостовых и переходных отсеков. Моделирование кинематических связей между блоками.

Влияние упругих свойств ЛА на процессы отделения. Модальный анализ как метод дискретизации. Методы исследования явлений отдачи и потерь скорости отделения.

Динамика мягкой посадки. Способы амортизации и типы посадочных устройств. Аналитические оценки для импульсных и механических посадочных устройств.

Уравнения движения корпуса ЛА и элементов посадочного устройства с учетом реакций связей.

Динамика крупногабаритных космических трансформируемых конструкций.

Вопросы к кандидатскому экзамену

1. Случайные и систематические возмущающие факторы при движении ЛА. Устойчивость и управляемость движения. Качество управления и показатели качества.
2. Способы выбора систем координат упругого ЛА. Кинематические соотношения углового движения,
3. Принцип декомпозиции движений. Принцип обратной связи.
4. Модель Земли и поля земного тяготения. Учет влияния вращения Земли на полет ЛА и ракетно-космических комплексов
5. Структура земной атмосферы. Модели изменения параметров атмосферы по высоте. «Стандартные» атмосферы.
6. Внешние силы и моменты, действующие на ЛА в полете.
7. Силы и моменты органов управления ЛА.
8. Классификация математических моделей ЛА. Развитие динамических расчетных схем.
9. Принцип затвердевания. Уравнения поступательного движения полюса связанной системы координат ЛА в векторной и координатной форме.
10. Уравнения вращения связанных подвижных осей ЛА относительно инерциальных
11. Уравнения движения ЛА на активном участке траектории. Уравнения продольного и бокового движения ЛА в центральном гравитационном поле.
12. Уравнения относительного движения ЛА
13. Упругий летательный аппарат как объект управления. Твердые и упругие формы колебаний. Уравнение упругих относительных колебаний в операторной форме.
14. Асимптотическая устойчивость (по Ляпунову). Техническая устойчивость. Статическая и динамическая устойчивость при продольном и боковом движении.
15. Устойчивость ротационного движения ЛА с упругими элементами
16. Устойчивость упругого ЛА с учетом поперечных колебаний корпуса. Динамическая блок-схема упругого ЛА.
17. Устойчивость ЛА с полостями, частично заполненными жидкостью. Устойчивость замкнутой системы с идеальным регулятором.

18. Продольные автоколебания в замкнутой гидроупругой системе «корпус ЛА – топливная магистраль - двигатель». Методы оценки устойчивости при продольных колебаниях.
19. Приближенные аналитические, графоаналитические методы решения задач баллистики. Графоаналитический метод расчета активного участка баллистических ракет Лаврова – Аппазова - Мишина.
20. Оптимизационные задачи баллистики. Двухточечные краевые задачи
21. Методы стабилизации углового движения. Достаточные условия устойчивости. Устойчивость резонансных режимов вращения.
22. Методы решения уравнений навигации в платформенных и бесплатформенных инерциальных навигационных системах.
23. Расчет параметров невозмущенного орбитального движения. Определение орбиты по заданным условиям движения. Определение орбиты по данным внешнетраекторных измерений.
24. Прогнозирование движения КА. Корректирующие маневры. Маневры сближения и встреча КА на орбите. Навигационное обеспечение и автономная навигация при выполнении межорбитальных маневров.
25. Баллистическое проектирование орбитальных структур спутниковых систем.
26. Методические особенности решения баллистико-навигационных задач при оперативном управлении полетом КА.
27. Общая характеристика возмущений и возмущенного движения. Методы определения баллистических производных.
28. Планирование летного баллистического эксперимента. Методы обработки результатов измерений.
29. Динамические модели процессов разделения ступеней КА и ракет.
30. Динамика мягкой посадки КА.
31. Динамика крупногабаритных космических трансформируемых конструкций
32. Структурная схема динамического контура стабилизации.
33. Задача оптимального по быстродействию управления угловой скоростью.
34. Задача оптимального по расходу рабочего тела управления угловой скоростью.
35. Построение бортовых алгоритмов на основе инженерного приближения задачи оптимального управления КА для инерциальных систем.
36. Построение бортовых алгоритмов на основе инженерного приближения задачи оптимального управления КА для вращающихся систем.
37. Построение бортовых алгоритмов оптимального управления стабилизацией углового положения.
38. Построение бортовых алгоритмов на основе инженерного приближения задачи оптимального управления КА для вращающихся систем при наличии ограничений на значение угловой скорости вращения.
39. Оценка параметров вектора состояния при сближении КА.
40. Быстрая схема сближения КА.
41. Модели движения космических аппаратов.
42. Стабилизация и увод отделившейся ступени. Анализ предпочтительных направлений отделения.
43. Редукция и осреднение уравнений орбитального движения. Анализ движения отделившейся ступени при действии остаточной тяги.
44. Сброс обтекателей, хвостовых и переходных отсеков.
45. Моделирование внутренних связей между блоками.
46. Раскрытие антенн, кабель-мачт, крышек контейнеров.
47. Система разделения с дополнительными мгновенно накладываемыми связями.
48. Элементы общей теории систем деформируемых тел.

49. Динамические величины: количество движения, кинетический момент и кинетическая энергия отделяемого упругого блока.

Примеры билетов к кандидатскому экзамену:

Билет №1

1. Летательный аппарат как структурно сложная механическая система. Развитие динамических расчетных схем
2. Классификация исполнительных органов, принципы работы и основные характеристики.
3. Линейные задачи оптимизации траекторий КА.

Билет №2

1. Вывод уравнений вынужденных поперечных колебаний неоднородной ракеты.
2. Общее решение кинематической задачи оптимального управления методом максимума Понтрягина.
3. Преобразование задачи оптимизации траектории КА к форме нелинейного программирования

Билет №3

1. Построение бортовых алгоритмов на основе инженерного приближение задачи оптимального управления КА для вращающихся систем при наличии ограничений на значение угловой скорости вращения.
2. Задача оптимального по быстродействию управления угловой скоростью.
3. Быстрая схема сближения КА.

Билет №4

1. Критерии оптимизации траекторий КА.
2. Силы и моменты, действующие на ракету в полете и в процессе отделения.
3. Инженерное приближение задачи оптимального управления КА с использованием аппарата решения задачи оценки и идентификации.

Билет №5

1. Линейная импульсная коррекция траекторий КА.
2. Построение бортовых алгоритмов на основе инженерного приближение задачи оптимального управления КА для вращающихся систем.
3. Процессы и средства разделения и отделения. Примеры, сравнительные достоинства и недостатки.

Билет №6

1. Учет сил трения в уравнении поперечных колебаний неоднородной ракеты. Реологические модели. Гипотеза Фойгта.
2. Типовые ограничения во внутренних точках для оптимальных траекторий.
3. Управление по выходу линейными ММО-системами.

Билет №7

1. Оценка параметров вектора состояния при сближении КА.
2. Динамические величины: количество движения, кинетический момент и кинетическая энергия отделяемого упругого блока.
3. Преобразование задачи оптимизации траектории КА к форме нелинейного программирования

Критерии оценивания кандидатского экзамена:

Оценка за экзамен	Критерии оценивания
«Неудовлетворительно»	Аспирант не знает значительной части программного материала (менее 50% правильно выполненных заданий от общего объема работы), допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.
«Удовлетворительно»	Аспирант показывает знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, в целом, не препятствует усвоению последующего программного материала, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена на минимально допустимом уровне.
«Хорошо»	Аспирант показывает, что твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения, допуская некоторые неточности; демонстрирует хороший уровень освоения материала, информационной и коммуникативной культуры и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.
«Отлично»	Аспирант глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач, подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.

Основная литература

1. Зубов Н.Е., Рябченко В.Н. «Алгебраические и матричные методы в теории управления движением летательных аппаратов» учебное пособие / - Королев: Издательство ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», 2015. -160с.: ил.
2. Зубов Н.Е., Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н. «Посткомпенсация в задачах управления движением летательных аппаратов» учебное пособие/Н.Е.Зубов, М.Ш. Мисриханов, В.Н. Рябченко. - Королев: Издательство ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева» , 2015. - 124с.
3. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов – Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 245.
4. Соловьев В.А. Управление космическими полетами. Учебное пособие. В 2 ч. / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. Ч.1. 476 с.

5. Соловьев В.А. Управление космическими полетами. Учебное пособие. В 2 ч. / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общ. ред. Л.Н. Лысенко. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. Ч.2. 432 с.
6. Баллистика и наведение летательных аппаратов / Ю. Г. Сихарулидзе. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 407 с.
7. Колесников К.С., Кокушкин В.В., Борзых С.В., Панкова Н.В. Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет.
8. Динамика полёта. Избранные работы / С. А. Чаплыгин. - М. : Юрайт, 2017. - 263 с.

Дополнительная литература

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М38 М.: Машиностроение. Ракетно-космическая техника. Т. IV- 22 / И.П. Абрамов, И.В. Алдашкин, Э.В. Алексеев и др.; под ред. В.П. Легостаева. В 2 кн. Кн.1. 2014. 563с. Кн. 2 Ч. II. 2014. 548 с.
2. Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полётов / Л. Н. Лысенко, В.В. Бетанов, Ф.В. Звягин; под общей редакцией Л.Н. Лысенко. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 520 с.
3. Зубов Н.Е., Рябченко В.Н. «Управление космическим аппаратом при сходе с орбиты и движении в атмосфере» учебное пособие/Н.Е.Зубов, В.Н.Рябченко Королев: Издательство ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», 2015. 150 с.
4. Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Рябченко В.Н. «Матричные методы в теории и практике систем автоматического управления летательных аппаратов»: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. -666, (6) с.:

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Электронно-библиотечная система (ЭБС):

www.e.lanbook.com - неограниченный доступ по договору с ЭБС «Издательство Лань»

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.energia.ru/ktt/archive.html> (журнал «Космическая техника и технологии»)
2. <http://doc.rsc.energia.ru/webtop/>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/> - электронная свободная энциклопедия «Википедия»
4. <http://www.roscosmos.ru/> - государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос».
5. <http://www.nasa.gov/> - американское космическое агентство
6. http://doc.rsc.energia.ru/webtop/component/main?__dmfClientId=1457510569398&__dmfRequestId=__client1~~2&__dmfJumpType=jump – труды ученых РКК «Энергия»
7. <http://vip/aspirantura/DocLib3/Forms/AllItems.aspx> - электронная библиотека на портале Аспирантура