

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

А.А. Фомин



« 01 » 2021 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

05.11.03 «Приборы навигации»

НАПРАВЛЕНИЕ – 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и
биотехнические системы и технологии»

Саратов, 2021

Введение

В основу настоящей программы положены вузовские дисциплины: «Теоретическая механика», «Теория автоматического управления», «Прикладная теория гироскопов», «Инерциальные навигационные системы», «Автоматическое управление подвижными объектами».

Программа-минимум разработана экспертным советом по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи ВАК РФ при участии МВТУ им. Н. Э. Баумана, МАИ(ТУ), Тульского государственного университета, Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербургского университета точной механики и оптики, и государственного научного центра РФ ЦНИИ «Электроприбор» (С.-Пб.).

1. Теория гироскопа с быстровращающимся ротором

Основные теоремы и положения теоретической механики, используемые при исследовании симметричного быстровращающегося гироскопа. Методы составления дифференциальных уравнений движения гироскопа. Основные свойства гироскопов с тремя и двумя степенями свободы. Теория гиromаятника. Невозмущаемый гиromаятник.

Гироскоп в кардановом подвесе. Точная теория движения гироскопа. Интерпретация движения на картинной плоскости. Методы интегрирования уравнений движения гироскопа. Гироскоп в кардановом подвесе на подвижном основании (линейные ускорения и вибрации, угловые вибрации); влияние моментов трения, остаточной несбалансированности. Кардановые погрешности. Силы и моменты, действующие на гироскоп, их вероятностные характеристики. Методы автокомпенсации погрешностей гироскопов. Структурные схемы, передаточные функции, частотные характеристики гироскопа.

2. Основные положения теории информационно-измерительных систем

Основные понятия, термины и определения. Физические величины (ФВ). Методы и средства идентификации ФВ (прямые, косвенные, методы сравнения). Эталоны ФВ. Методы и способы оценки достоверности измерения ФВ. Истинное значение ФВ, точность (погрешность) измерения. Измерительные преобразователи (ИП), назначение, основные характеристики. Формы представления выходного сигнала (аналоговая, частотная, цифровая). Методы и средства взаимного преобразования сигналов (аналогоцифровые и цифроаналоговые преобразователи), качественные показатели (быстродействие, точность, разрядность, энергоемкость...). Расчет статических и динамических характеристик ИП. Измерительные цепи прямого преобразования и уравнивания (статического, астатического, развертывающего). Измерительные цепи цифровых ИП.

Классификация погрешностей. Причины возникновения и основные составляющие статических и динамических погрешностей. Методы анализа точности и повышения точности ИП (структурные, алгоритмические; комплексирование; принцип инвариантности). Надежность ИП. Расчет показателей надежности и методы повышения надежности ИП. Цифровые методы и средства анализа метрологических характеристик сигналов с использованием современных программных и аппаратных средств ЭВМ. Методы оценки количественных и качественных характеристик выходных сигналов ИП с использованием вероятностных критериев.

3. Стохастические методы обработки информации

Статистическое описание случайных процессов. Статистические характеристики случайных процессов. Стационарность случайных процессов. Понятие белого шума. Наиболее употребительные законы

распределения. Предельные теоремы. Статистический анализ точности линейных систем. Преобразование случайных входных сигналов элементарными звеньями. Определение статистических характеристик выходных сигналов многомерных систем во времени и в частотном представлении. Формирование случайных процессов с заданными характеристиками. Применение формирующих фильтров. Использование методов моделирования случайных процессов на ЭВМ. Экспериментальные методы определения статистических характеристик случайных процессов.

Оптимальные линейные системы. Статистические критерии оптимальности и их особенности. Необходимое и достаточное условие оптимальности. Решение задачи оптимальной фильтрации методом Винера. Постановка задачи оптимальной фильтрации Калмана и Бьюси. Алгоритм оптимального фильтра Калмана-Бьюси и его особенности. Нелинейная калмановская фильтрация и ее особенности. Методы гарантирующего оценивания. Метод эллипсоидов. Метод апертурного оценивания. Достоинства и недостатки методов гарантирующего оценивания по сравнению со статистическими.

4. Гирскопические приборы

Классификация гирскопических приборов. Гирскопические приборы с тремя степенями свободы. Свободные гирскопы, гиргоризонт, гировертиконт, гиринонтегратор линейных ускорений, гирикоординатор; схемы, уравнения движения, погрешности.

Определение курса на подвижном объекте. Гириполукомпас (ГПК). Уравнения движения ГПК, погрешности, способы уменьшения погрешностей. Гирскопический компас (ГК). Уравнения движения простого маятникового ГК; их анализ. Погрешности ГК на подвижном основании с учетом случайных возмущений и способы их уменьшения. Схемы двухроторного и пространственного ГК. Уравнения движения, их анализ.

Условия настройки на период 84,4 мин. Гирогоризонткомпас и гирошироткомпас. Гироорбитант. Уравнения движения, передаточные функции, их анализ, погрешности, динамические характеристики. Гироскопические приборы с двумя степенями свободы. Основные схемы датчиков угловых скоростей (ДУС). Уравнения движения и передаточные функции. Основные погрешности, особенности схем, основные расчетные соотношения. Гироскопы ФУКО 1 и 2 рода и их применение. Интегрирующие гироскопы (ИГ). Уравнения движения, передаточные функции, динамические характеристики ИГ. Поплавковые интегрирующие гироскопы (ПИГ); определение собственной скорости прецессии ПИГ и ее составляющих. Динамически настраиваемые гироскопы. Принципы построения. Физический смысл динамической настройки. Уравнения движения, модель погрешностей. Лазерные гироскопы (ЛГ). Эффект Саньяка. Принципы работы газового гелий-неонового лазера. Кольцевой оптический резонатор, система съема информации, системы подставки, системы накачки ЛГ. Погрешности ЛГ. Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ). Принципы и схемы построения. Основные функциональные элементы. Погрешности ВОГ. Волновой твердотельный гироскоп (ВТГ). Физический эффект инертности упругих волн. Схемы построения ВТГ, основные функциональные узлы. Системы съема и обработки информации, принципы стабилизации амплитуды вибраций, фазовой автоподстройки частоты, коррекции собственных осей жесткости. Погрешности ВТГ. Гироскопы со сферическим неконтактным электромагнитным подвесом ротора. Характерные типы подвесов. Основные подсистемы. Погрешности. Микромеханические гироскопы. Схемы построения. Особенности математических моделей, погрешности.

5. Акселерометры и гравиметры

Особенности измерения линейных и угловых ускорений. Классификация акселерометров. Акселерометры прямого действия и

компенсационного типа. Осевые и маятниковые акселерометры. Интегрирующие, струнные, кварцевые, микромеханические акселерометры; математические модели и структурные схемы. Демпфирование чувствительных элементов. Работа на вибрирующем основании. Частотные характеристики.

Назначение гравиметров. Принципы построения и классификация гравиметров. Гравиметры для работы на подвижном основании; основные характеристики, погрешности. Перспективы построения гравитационных градиентометров. Метрологическое обеспечение. Методы испытаний акселерометров и гравиметров и стенды для их реализации.

6. Гироскопические стабилизаторы

Одноосные гироскопические стабилизаторы (ГС). Уравнения движения, структурные схемы и передаточные функции силового и индикаторно-силового ГС. Свободное и вынужденное движение ГС. Динамические характеристики ГС. Выбор параметров ГС из условия обеспечения заданных динамических характеристик. Определение собственной скорости прецессии ГС на неподвижном и подвижном основаниях. Влияние нелинейностей (моментов, трения, люфтов и др.) на динамику ГС. Динамические погрешности ГС. Исследование ГС при случайном характере возмущений. Типовые схемы ГС, их применение.

Двухосные ГС. Уравнения движения; их анализ. Структурные схемы и передаточные функции, устойчивость ГС. Влияние связи между каналами на динамические характеристики ГС. Свободное и вынужденное движения. Основные погрешности двухосного ГС. Движение платформы ГС при гармонических и случайных колебаниях основания. Типовые схемы двухосного ГС, их применение.

Трехосные ГС. Уравнения движения силового ГС, индикаторно-силового ГС с интегрирующими гироскопами, с ДУС, с астатическими,

динамически настраиваемыми, вибрационными и лазерными гироскопами. Свободное и вынужденное движение платформы. Влияние связей между каналами на величину собственной скорости прецессии и выбор параметров ГС. Невыбываемые ГС.

Самоориентирующиеся ГС. Типовые схемы ГС и их применение. Применение ЭВМ для анализа динамики и синтеза параметров ГС по критерию оптимизации функции цели.

Метрологическое обеспечение, методы испытаний и динамические стенды для отработки и типовых проверок ГС.

7. Гировертикали и курсовые гироскопические системы

Гировертикали (ГВ). Методы определения направления истинной вертикали на подвижном объекте. Схемы маятниковых ГВ. Уравнения движения, погрешности ГВ и их статистический анализ. Способы повышения точности ГВ. Невыбываемая ГВ.

Двухгироскопные и четырехгироскопные силовые ГВ. Уравнения движения ГВ типа ЦГВ, погрешности силовых ГВ. ГВ с интегральной коррекцией. Условие настройки на период 84,4 мин. Определение курса на подвижном объекте. Указатель направления ортодромии (УНО). Уравнения движения и погрешности УНО на подвижном основании. Способы уменьшения погрешностей и начальная выставка УНО.

Курсовертикаль. Трехгироскопная курсовертикаль с силовой стабилизацией. Уравнения движения, передаточные функции, их анализ; погрешности. Трехгироскопная курсовертикаль на поплавковых гироскопах. Двухгироскопная гировертикаль на поплавковых гироскопах. Двухгироскопная курсовертикаль с астатическим гироскопом.

Синтез гироскопических систем. Методы построения гироскопических систем, обладающих оптимальными динамическими характеристиками. Системный подход к выбору схемы гиросистемы, исходя из назначения

объекта, точности, надежности, габаритов, экономических показателей и т. д. Принципы моделирования и синтеза гироскопических систем с помощью ЭВМ.

8. Элементы гироскопических приборов и систем

Элементы электромеханических гироскопов и акселерометров: гиромоторы; электропривод головок самонаведения (трехстепенные электрические машины); подвесы: кардановые, упругие, сферические шарикоподшипниковые; жидкостные, газовые (статические и динамические); электромагнитные, электростатические. Шарикоподшипниковые опоры. Опоры скольжения. Датчики угла, силы и момента. Двигатели стабилизации. Токопередающие устройства, демпферы, арретиры и др. Элементы импульсных гироскопов. Устройства разгрузки элементов подвеса от больших перегрузок. Элементы оптических гироскопов: оптические резонаторы, оптическое волокно, лазеры, фотоприемники, поляризаторы, магнито-, акусто- и электрооптические преобразователи и др. Элементы микромеханических гироскопов и акселерометров. Основные технологические приемы изготовления чувствительных элементов. Характерные конструктивные решения, методы расчета, характеристики. Экспериментальные исследования элементов; методы и средства их реализации.

9. Основные методы и средства навигации

Методы навигации и общая классификация навигационных систем. Навигационные параметры. Фигура Земли и аппроксимирующие поверхности. Гравитационное поле Земли и поле силы тяжести. Виды вертикалей и широт. Выражения для проекции вектора гравитационного ускорения на оси горизонтальной и экваториальной систем координат.

Магнитное поле Земли и его математическое представление. Использование магнитного поля в навигации. Системы координат, используемые для решения задач навигации. Матрица направляющих косинусов и решение задачи пересчета информации.

Приборы и системы, реализующие позиционный метод навигации: астрономические навигационные приборы (секстаны, астрокомпасы, астроориентаторы, приборы дневной и радиовидимости звезд); радиотехнические навигационные приборы и системы (особенности распространения радиоволн, способы определения координат места, радиолокационные станции, спутниковые навигационные системы, радиовысотомеры); гидроакустические навигационные приборы (распространение акустических волн в воде и гидроакустические преобразователи, эхолоты и эхоледомеры, гидролокаторы, гидроакустические навигационные системы).

Приборы и системы, реализующие метод счисления пути: гидродинамические, индукционные, радиодоплеровские лаги, гидроакустические абсолютные корреляционные лаги, дрейфомеры, геомагнитные измерители скорости течений. Системы счисления пути. Корреляционно-экстремальные системы навигации. Основные схемы и конструктивные решения. Методы расчета основных характеристик. Методы и технологии искусственного интеллекта в навигации. Адаптивные системы, экспертные системы и нейросетевые технологии в навигации. Типы и свойства нейросетей. Метрологическая аттестация средств навигации.

10. Инерциальные навигационные системы

Принципы построения и классификация инерциальных навигационных систем (ИНС). ИНС геометрического, полуаналитического типа; аналитического типа с гиросtabilизированной платформой, бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС).

Основное уравнение идеальной работы ИНС платформенного типа и его реализация при работе ИНС в географической, ортодромной и ортополярной сферических системах координат. Учет несферичности Земли и модели ее гравитационного поля. Принцип интегральной коррекции и его применение при построении ИНС. Начальная выставки платформенных ИНС. Специфика построения БИНС в зависимости от применяемых измерителей параметров ориентации подвижного объекта. Промежуточные параметры ориентации – параметры Родрига-Гамильтона, векторы конечного и истинного поворота, кватернионы. Построение алгоритма решения задачи ориентации при использовании промежуточных параметров. Численные алгоритмы ИНС и БИНС. Начальная выставка ИНС и БИНС. Анализ точностных характеристик ИНС и БИНС. Уравнения ошибок. Применение ЭВМ при решении задач проектирования ИНС и БИНС.

11. Комплексные навигационные системы

Использование дополнительной информации о параметрах навигации для демпфирования и коррекции ИНС. Методы комплексирования. Общие положения теории корректируемых систем; непрерывная и периодическая коррекция. Гирокомпасирование с использованием оптимального фильтра. Коррекция ИНС с помощью скоростной, позиционной и угловой информации.

Статистическая обработка сигналов в комплексных навигационных системах, основные погрешности и способы их анализа с применением ЭВМ.

12. Спутниковые навигационные системы

Общие принципы построения спутниковых навигационных систем (СНС). Наземный, космический и пользовательский сегменты систем. Основные характеристики систем ГЛОНАСС и GPS. Способы

навигационных определений в спутниковых системах навигации и методы разделения сигналов спутников в системах. Основные источники погрешностей в СНС и методы их учета и компенсации. Кодовые и доплеровские измерения. Обобщенная структура спутникового навигационного приемника. Дифференциальный и относительный режимы измерений в СНС. Перспективы использования СНС в авиакосмических приложениях.

13. Системы ориентации и стабилизации космических летательных аппаратов

Задачи, решаемые системами ориентации и стабилизации космических летательных аппаратов (КЛА). Принципы и схемы построения активных систем и непосредственных гироскопических стабилизаторов КЛА. Условия работоспособности непосредственных гиростабилизаторов и их основные характеристики. Метод связывания скрытого кинетического момента с корпусом КЛА. Гиродины, гравитационно-гироскопическая стабилизация КЛА.

14. Пилотажно-навигационные комплексы воздушных судов

Пилотажно-навигационные комплексы (ПНК) как информационная измерительная управляющая сложная система. Критерии эффективности ПНК. Функциональная архитектура ПНК, включая подсистемы: навигационный комплекс, управляющий комплекс, бортовая система обмена и передачи информации, система отображения информации, вычислительный комплекс. Основные характеристики подсистем. Алгоритмическое и программное обеспечение комплекса. Обобщенная структура алгоритмического обеспечения ПНК. Особенности бортовых алгоритмов с учетом ограничений БЦВМ. Особенности построения

дискретных алгоритмов оптимальной фильтрации. Субоптимальные дискретные фильтры в структуре ПНК. Алгоритмы диагностики и контроля ПНК и его подсистем. Локализация и исключение отказов. Модели исследования ПНК – динамические оптимизационные, имитационные, семиотические, адекватные теории оптимальных минимаксных динамических систем. Задачи, решаемые на базе этих моделей. Технические и социально-экономические основы построения критериев эффективности сложных систем ПНК и комплексных навигационных систем.

Рекомендуемая основная литература

1. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров В. А. Измерительная техника. -М.: Высшая школа, 1991.-382 с.
2. Бессекерский В. А., Фабрикант Е. А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. -Л.: Судостроение, 1968.-351 с.
3. Бромберг П.В. Теория инерциальной навигации. - М.; Наука, 1979.-294 с.
4. Булгаков Б. В. Прикладная теория гироскопов. - М.: Гостехиздат, 1978.-335
5. Бычков С. И., Лукьянов Д. П., Бакаляр А. И. Лазерный гироскоп. -М.: Советское радио, 1975.-423 с.
6. Гироскопические системы: в 3-х частях / под ред. Д. С. Пельпора.-М.: Высшая школа, 1986, ч. 1. Теория гироскопов и гироскопических стабилизаторов.-423 с.; 1988, ч. 2. Гироскопические приборы и системы.-424 с.; 1988, ч. 3. Элементы гироскопических приборов.-432 с.
7. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем в 3-х частях / под ред. Д. С. Пельпора.-М.: Высшая школа, 1977, ч. 1. Системы ориентации и навигации. -215 с.; ч. 2. Гироскопические стабилизаторы.-224 с.; ч. 3. Элементы гироскопических приборов.-132 с.
8. Ишлинский А. Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. -М.; Наука, 1976.-670 с.

9. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. – М.: Машиностроение, 1982.-215 с.
10. Михалев И. А., Окоемов Б. Н., Чикулаев М. С. Системы автоматического управления самолетом. -М.: Машиностроение, 1987.-240 с.
11. Репников А. В., Сачков Г. П., Черноморский А. И. Гироскопические системы.-М.: Машиностроение, 1983.-319 с.
12. Северов Л. А. Механика гироскопических систем.-М.: МАИ, 1996.-211с.

Дополнительная литература

1. Аппазов Р.Ф., Сытин О.Г. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли. –М.: Наука, 1987. – 440 с.
2. Горин В. И., Распопов В. Я. Гирокоординаторы вращающихся по крену ракет. -М.: НТЦ Информтехника, 1996.-151 с.
3. Дмитриев С.П. Инерциальные методы в инженерной геодезии. – С.-Петербург: Электроприбор, 1997. –124 с.
4. Коновалов С.Ф. Теория виброустойчивости акселерометров. – М.: Машиностроение, 1991.-269 с.
5. Помыкаев И. И., Селезнев В. П., Дмитроченко Л. А. Навигационные приборы и системы. -М.: Машиностроение, 1983.-455 с.
6. Пельпор Д. С., Колосов Ю. А., Рахтеенко Е. Р. Расчет и проектирование гироскопических стабилизаторов.-М.: Машиностроение, 1972.-216 с.
7. Шереметьев А. Г. Волоконный оптический гироскоп. -М.: Радио и связь, 1987.-151 с.

Директор ИнЭТиП

Зав. каф.

«Приборостроение»

Руководитель

программы

аспирантуры по

специальности 05.11.03

«Приборы навигации»



Никифоров А.А.

Мельников Л.А.



Плотников П.К.