

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»

Проректор по науке и инновациям

А.И. Землянухин

« 22 » декабря 2025 г.



ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ

ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Научная специальность

2.2.5 «Приборы навигации»

Саратов, 2025

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ВОПРОСЫ

1. Основные теоремы и положения теоретической механики, используемые при исследовании симметричного быстровращающегося гироскопа. Методы составления дифференциальных уравнений движения гироскопа.
2. Основные свойства гироскопов с тремя и двумя степенями свободы. Теория гиromаятника. Невозмущаемый гиromаятник.
3. Гироскоп в кардановом подвесе. Точная теория движения гироскопа. Интерпретация движения на картинной плоскости. Методы интегрирования уравнений движения гироскопа.
4. 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.
5. 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.
6. Измерительные преобразователи (ИП), назначение, основные характеристики. Формы представления выходного сигнала (аналоговая, частотная, цифровая). Методы и средства взаимного преобразования сигналов (аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи), качественные показатели (быстродействие, точность, разрядность, энергоемкость и др.). Расчет статических и динамических характеристик ИП. Измерительные цепи прямого преобразования и уравнивания (статического, астатического, развертывающего). Измерительные цепи цифровых ИП.
7. Классификация погрешностей. Причины возникновения и основные составляющие статических и динамических погрешностей. Методы анализа точности и повышения точности ИП (структурные, алгоритмические; ком-плексирование; принцип инвариантности).
8. 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.
9. Статистическое описание случайных процессов. Статистические характеристики случайных процессов. Стационарность случайных процессов. Понятие белого шума. Наиболее употребительные законы распределения. Предельные теоремы.
10. 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.
11. Применение формирующих фильтров. Использование методов моделирования случайных процессов на ЭВМ. Экспериментальные методы определения статистических характеристик случайных процессов.

12. Оптимальные линейные системы. Статистические критерии оптимальности и их особенности. Необходимое и достаточное условие оптимальности. Решение задачи оптимальной фильтрации методом Винера.
13. 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.
14. Классификация гироскопических приборов. Гироскопические приборы с тремя степенями свободы. Свободные гироскопы, гиригоризонт, гироверти-кант, гириинтегратор линейных ускорений, гирикоординатор; схемы, уравнения движения, погрешности.
15. Определение курса на подвижном объекте. Гириполукомпас (ГПК). Уравнения движения ГПК, погрешности, способы уменьшения погрешностей. Гироскопический компас (ГК). Уравнения движения простого маятникового ГК; их анализ.
16. 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. Гиригоризонткомпас и гиришироткомпас. Гириорбитант. Уравнения движения, передаточные функции, их анализ, погрешности, динамические характеристики.
17. Гироскопические приборы с двумя степенями свободы. Основные схемы датчиков угловых скоростей (ДУС). Уравнения движения и передаточные функции. Особенности схем, основные расчетные соотношения и основные погрешности. Гироскопы ФУКО первого и второго 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.
18. Динамически настраиваемые гироскопы. Принципы построения. Физический смысл динамической настройки. Уравнения движения, модель погрешностей. Эффекта Саньяка. Схемы, принцип работы кольцевых интерферометров на «медленных» волнах.
19. Лазерные гироскопы (ЛГ). Принципы работы газового гелий-неонового лазера. Кольцевой оптический резонатор, система съема информации, системы подставки, системы накачки ЛГ. Погрешности ЛГ.
20. Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ). Принципы и схемы построения. Основные функциональные элементы. Погрешности ВОГ.
21. 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.
22. Гироскопы со сферическим неконтактным электромагнитным подвесом ротора. Характерные типы подвесов. Основные подсистемы. Погрешности. Микромеханические гироскопы. Схемы построения. Особенности математических моделей, погрешности.
23. 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.

24. Назначение гравиметров. Принципы построения и классификация гравиметров. Гравиметры для работы на подвижном основании; основные характеристики, погрешности измерений. Перспективы построения гравитационных градиентометров. Метрологическое обеспечение. Методы испытаний акселерометров и гравиметров и стенды для их реализации.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. Самоориентирующиеся ГС. Типовые схемы ГС и их применение. Применение ЭВМ для анализа динамики и синтеза параметров ГС по критерию оптимизации функции цели.
29. Метрологическое обеспечение, методы испытаний и динамические стенды для отработки и типовых поверок ГС.
30. Гировертикали (ГВ). Методы определения направления истинной верти-Кали на подвижном объекте. Схемы маятниковых ГВ. Уравнения движения, погрешности ГВ и их статистический анализ. Способы повышения точности ГВ. Невыбываемая ГВ.
31. Двухгироскопные и четырехгироскопные силовые ГВ. Уравнения движения ГВ типа ЦГВ, погрешности силовых ГВ. Гировертикали с интегральной коррекцией. Условия 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.
32. 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.
33. Синтез гироскопических систем. Методы построения гироскопических систем, обладающих оптимальными динамическими характеристиками. Системный подход к выбору схемы гиросистемы с учетом из назначения объекта, точности, надежности, габаритов, экономических показателей и т. д. Принципы моделирования и синтеза гироскопических систем с помощью ЭВМ.
34. Элементы электромеханических гироскопов и акселерометров: гиросомоторы; электропривод головок самонаведения (трехступенные 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.

35. 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.

36. Методы навигации и общая классификация навигационных систем. Навигационные параметры. Фигура Земли и аппроксимирующие поверхности.

37. 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.

38. Приборы и системы, реализующие позиционный метод навигации: астрономические навигационные приборы (секстанты, 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, гидроакустические преобразователи (эхолоты и эхоледомеры), гидролокаторы, гидроакустические навигационные системы.

39. Приборы и системы, реализующие метод счисления пути: гидродинамические, индукционные, радиодопплеровские 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.

40. Принципы построения и классификация инерциальных навигационных систем (ИНС). Инерциальные навигационные системы геометрического, по луаналитического типа; аналитического типа с гиросtabilизированной платформой, бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИМС). Основное уравнение идеальной работы ИМС 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.

41. Начальная выставка платформенных ИНС. Специфика построения БИМС 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 Г)ВМ при решении задач проектирования ИНС и БИНС.
42. 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.
43. 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.
44. Общие принципы построения спутниковых навигационных систем (СНС). Наземный, космический и пользовательский сегменты систем. Основные характеристики систем ГЛОНСС и GPS. Способы навигационных определений в спутниковых системах навигации и методы разделения сигналов спутников в системах.
45. 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. Задачи, решаемые системами ориентации и стабилизации космических летательных аппаратов (КЛА). Принципы и схемы построения активных систем и непосредственных гироскопических стабилизаторов КЛА. Условия работоспособности непосредственных гиросtabilизаторов и их основные характеристики. Метод связывания скрытого кинетического момента с корпусом КЛА. Гиродины, гравитационно-гироскопическая стабилизация КЛА.
46. Пилотажно-навигационные комплексы (ПНК) как информационно-измерительная и управляющая сложная система. Критерии эффективности ПНК. Функциональная архитектура ПНК, включающая подсистемы: навигационный комплекс, управляющий комплекс, бортовую систему 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 БДВМ. 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.
47. Поворотные стенды для контроля измерителей угловой скорости. Классификация. Особенности построения стендов отечественных и зарубежных фирм. Современное состояние и проблемы производства для разработки и проектирования поворотных стендов.
48. Поворотные стенды с инерциальными чувствительными элементами. Принцип действия, функциональный состав. Технические характеристики стендов с инерциальными чувствительными элементами. Принцип действия механизма отслеживания.
49. Датчики угла, угловые энкодеры, датчики Холла, редуктосины. Целесообразность использования в стендах.

50. Правило комплексирования информации с акселерометров, измеряющих тангенциальное и центростремительное ускорения точек их крепления к платформе стенда. Обоснование выбора количества акселерометров в системе управления стенда.
51. Особенности построения стендов с цифровыми системами управления. Достоинства и недостатки схемотехнических решений построения стендов с цифровыми системами управления.
52. Описание процессорной и вычислительной техники в схемотехнических решениях построения стендов.
53. Двигатели постоянного тока. Назначение и принцип действия.
54. Контактные и бесконтактные способы съема информации.
55. Описание схемотехнического решения построения стенда, работающего в режиме центрифуги для контроля параметров акселерометров.
56. Методы дискретизации. Преимущества и недостатки методов.
57. Математические модели трения. Наиболее адекватная модель трения для описания возмущающих воздействий в стендах.
58. Методы комплексирования выходной информации от избыточного количества измерителей.
59. Методика осреднения выходной информации в каналах управления и информационных каналах стенда.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Luenberger D.G. On introduction to observers. // IEEE Trans. Autom. Contr. 1971. V. AC-16.
2. Post E.J. Sangac Effect. Rev. Mod. Phys. 1967. Vol. 39, № 2, p. 475-493.
3. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров В. А. Измерительная техника. М.: Высшая школа, 1991.
4. Агшазов Р.Ф., Сытин О.Г. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли. М.: Наука, 1987.
5. Бахвалов Н.С. Численные методы. - М.: Наука, 1973. - 631 с.
6. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. - М.: Наука, 1959-1960. Т.1 -464 с; Т.2-620 с.
7. Бесекерский В.А. Динамический синтез систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1970. - 575 с.
8. Бесекерский В.А. Проектирование следящих систем малой мощности. -Л.: Судостроение, 1970. - 306 с.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1975. - 767 с.
10. Бромберг П.В. Теория инерциальной навигации. М.: Наука, 1979.
11. Булгаков Б. В. Прикладная теория гироскопов. М.: Гостехиздат, 1978.
12. Бычков С. И., Лукьянов Д. П., Бакаляр А. И. Лазерный гироскоп. М.: Сов. радио, 1975.
13. Горин В. П., Распопов В. Я. Гирокоординаты вращающихся по крену ракет. М.: НТЦ Информтехника, 1996. лит., 1952. т1. -351 с.
15. Дмитриев СП. Инерциальные методы в инженерной геодезии. СПб: Электроприбор, 1997.
16. Изерман Р. Цифровые системы управления. - М.: Мир, 1984. - 541 с.
17. Ишлинский А. Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976.

19. Ишлинский А.Ю. Механика гироскопических систем. - М.: АН СССР, 1963.-482 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калабеков Б.А. Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов. - М.: Радио и связь, 1988. - 368 с.
2. Калихман Д.М. Прецизионные управляемые стенды для динамических испытаний гироскопических приборов. / Под ред. В.Г. Пешехонова. - СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2008. - 273 с.
3. Коновалов С.Ф. Теория виброустойчивости акселерометров. М.: Машиностроение, 1991.
4. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
5. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1986. - 446 с.
6. Малеев П.И. Новые типы гироскопов. - Л., Судостроение, 1971, 160 с.
7. Михалев И. А., Окоемов Б. Н., Чикулаев М. С. Системы автоматического управления самолетом. М.: Машиностроение, 1987.
8. Пельпор Д. С., Колосов Ю. А., Рахтеенко Е. Р. Расчет и проектирование гироскопических стабилизаторов. М.: Машиностроение, 1972.
9. Плотников П.К. Измерительные гироскопические системы. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1976. - 167 с.
10. Помыкаев И. И., Селезнев В. П., Дмитроченко Л. А. Навигационные приборы и системы. М.: Машиностроение, 1983.
11. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2007. - 400 с.
12. Репников А. В., Сачков Г. П., Черноморский А. И. Гироскопические системы. М.: Машиностроение, 1983.
13. Садомцев Ю.В. Конструирование систем управления с обратной связью по критериям точности и грубости. - Саратов: СГТУ, 2003. - 297 с.
14. Северов Л. А. Механика гироскопических систем. М.: Изд-во МАИ, 1996.
15. Цыпкин Я.З. Теория импульсных систем. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. - 722 с.
16. Шереметьев А. Г. Волоконный оптический гироскоп. М.: Радио и связь, 1987.

И.о. директора ИнЭТиП



И.П. Волошин