

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Радиотехнических устройств»

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«Методы и средства радионавигационных измерений»**

Специальность

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация

«Радионавигационные системы и комплексы»

Уровень подготовки

**Специалитет**

Квалификация выпускника – инженер

Формы обучения – очная

Рязань 2025г

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на лабораторных работах. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по каждому модулю определено графиком, утвержденным заведующим кафедрой.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением зачета (9 семестр) и экзамена (10 семестр). Форма проведения зачета – устный ответ на теоретические вопросы из списка Форма проведения экзамена – устный ответ на теоретические вопросы из билета.

### **Критерии оценивания компетенций (результатов)**

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
- 3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
- 4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
- 5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается при промежуточной аттестации на зачете по шкале «зачтено-не зачтено», на экзамене по бальной шкале.

**Оценка «зачтено» на зачете** выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный программный материал, правильно и аргументировано ответил на вопросы, показал систематизированные знания в теме вопроса.

**Оценка «не зачтено» на зачете** выставляется студенту, который в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, не сумел ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем, или не сформулировал аргументированный ответ в грамотной форме.

**Оценка «зачтено» по лабораторной работе** выставляется студенту, который предоставил полную программу лабораторных исследований в виде отчета с логичными и аргументированными выводами по результатам выполненной лабораторной работы, усвоил материал по теме работы, правильно и аргументировано ответил на вопросы из списка, указанные преподавателем.

**Оценка «не зачтено» по лабораторной работе** который в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, не сумел ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем, или не сформулировал аргументированный ответ в грамотной форме, не предоставил полную программу лабораторных исследований в виде отчета с логичными и аргументированными выводами по результатам выполненной лабораторной работы.

**Оценку «Отлично» на экзамене** заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**Оценку «Хорошо» на экзамене** заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

**Оценку «Удовлетворительно» на экзамене** заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями и давшим законченные и логичные ответы на дополнительные вопросы преподавателя по темам вопросов экзаменационного билета.

**Оценка «Неудовлетворительно» на экзамене** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не предоставляют логичные и законченные ответы на вопросы экзаменационного билета, а также дополнительные вопросы преподавателя по темам вопросов экзаменационного билета, что ставит под сомнение способность данных студентов приступить в дальнейшем к профессиональной деятельности по окончании вуза.

## **Типовые контрольные задания или иные материалы**

### **Вопросы к зачету**

1. Определение радионавигации. Радионавигационные параметры, навигационные параметры, навигационные элементы. Вектор состояния и навигационная задача. Методы оценивания вектора состояния. Позиционные методы и радионавигационные ориентиры.
2. Метод наименьших квадратов. Линейный МНК, переопределенная система уравнений и псевдоинверсия. Матрица направляющих косинусов. Расширение до нелинейного МНК, градиентный поиск.
3. Линии положения. Основные изолинии, используемые в радионавигации, и соответствующие методы оценивания вектора состояния. Вид изолиний на малых расстояниях и в глобальном масштабе.

4. Матрицы вращения и преобразования декартовых и сферических координат. Определение координат точки назначения по известным координатам точки отбытия и азимуту (пеленгу). Определение азимута (пеленга) из точки назначения в точку прибытия с известными координатами.
5. Матрицы вращения и преобразования декартовых и сферических координат. Задача построения основных радионавигационных изолиний на сфере.
6. Сущность позиционных методов радионавигационных измерений. Дальномерный, суммарно-дальномерный и разностно-дальномерный методы. Используемые навигационные параметры, вид матриц направляющих косинусов и линий положения.
7. Сущность позиционных методов радионавигационных измерений. Угломерный, дальномерно-угломерный и разностно-угломерный методы. Используемые навигационные параметры, вид матриц направляющих косинусов и линий положения.
8. Радиально-скоростной, разностно-радиально-скоростной и суммарно-радиально-скоростной методы для оценки скорости через доплеровское смещение. Вид матрицы направляющих косинусов и выражения для линейного МНК.
9. Псевдодальность и псевдозадержка. Псевдо-дальномерный метод. Вид матрицы направляющих косинусов, сходство с разностно-дальномерным методом. Необходимое число радионавигационных ориентиров.
10. Псевдоскорость и псевдодоплеровское смещение. Псевдорадиально-скоростной метод. Влияние нестабильности часов ориентиров и объекта на точность оценки.
11. Первичная и вторичная обработка радионавигационных сигналов. Погрешности на этапе первичной обработки. Искажения сигнала при распространении.
12. Первичная и вторичная обработка радионавигационных сигналов. Погрешности на этапе вторичной обработки. Геометрический фактор, сильная и слабая геометрия.
13. Модели случайных процессов, используемые в радионавигации. Риск, функция потерь, оптимальные решения.
14. Модели радиосигналов, используемых в радионавигации. Диапазоны частот, отведенные для нужд радионавигации по Регламенту радиосвязи МСЭ.
15. Методы определения дальности в радионавигации. Устранение неоднозначности.
16. Методы определения угловых параметров в радионавигации.
17. Обнаружение радионавигационных сигналов. Ошибки I и II рода. Отношение правдоподобия. Критерий Неймана-Пирсона. Критерий минимума среднего риска. Критерий идеального наблюдателя.
18. Оценивание параметров радионавигационных сигналов. Оценки максимального правдоподобия. Оценка амплитуды и частоты радиоимпульса. Неравенство Рао-Крамера.
19. Дальность действия и рабочие зоны в радионавигации. Уравнение дальности. Энергетический бюджет линии связи.
20. Линейный фильтр Калмана: этап предсказания, этап уточнения. Связь с методом наименьших квадратов. Расширенный фильтр Калмана.

### **Вопросы к экзамену**

1. Обобщенная структура инерциальных систем радионавигации. Основные средства измерения в инерциальных системах, измеряемые ими величины и их применение при вычислении оценки ориентации объекта.
2. Устройство и принцип действия МЭМС датчиков: акселерометра, измерителя угловой скорости, магнитометра.
3. Описание ориентации объекта с помощью углов Эйлера-Крылова. «Складывание рамок». Связь показаний измерителя угловой скорости с углами Эйлера-Крылова.
4. Описание ориентации объекта с помощью кватернионов. Операции с кватернионами. Связь кватернионов с углами Эйлера-Крылова.

5. Описание ориентации объекта с помощью кватернионов. Параметры Родрига-Гамильтона. Связь показаний измерителя угловой скорости с ориентирующим кватернионом.
6. Выставка начальной ориентации объекта по показаниям акселерометра и магнитометра с использованием углов Эйлера-Крылова и кватернионов.
7. Математическая модель ошибок трехосного акселерометра.
8. Математическая модель ошибок трехосного гироскопа.
9. Математическая модель ошибок трехосного магнитометра. Магнитное склонение и наклонение.
10. Простая калибровка трехосного акселерометра. Переопределенная система уравнений и МНК.
11. Простая калибровка трехосного гироскопа. Переопределенная система уравнений и МНК.
12. Простая калибровка трехосного магнитометра. Переопределенная система уравнений и МНК.
13. Борьба с шумами МЭМС датчика. Интегрирование, интерполяция и первичная фильтрация данных. Дисперсия Аллана.
14. Комплексирование данных МЭМС датчика. Использование фильтра Калмана для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
15. Комплексирование данных МЭМС датчика. Использование фильтров Маджвика и Махони для объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра.
16. Устройство и принцип работы механических и пьезокерамических акселерометров. Погрешности.
17. Устройство и принцип работы механических, магнитогиродинамических, резонаторных гироскопов. Погрешности.
18. Устройство и принцип работы лазерных, оптоволоконных, квантовых гироскопов. Погрешности.
19. Представление данных с датчиков в цифровой форме. Прямой и дополнительный код. Влияние шумов квантования и джиттера на погрешности.
20. Комплексирование данных в астроинерциальных и инерциально-спутниковых системах. Фильтр Калмана.
21. Виды, устройство и принцип работы стандартов частоты и времени.
22. Виды, устройство и принцип работы стандартов угла и угловой скорости.
23. Метрологическое обеспечение средств радионавигационных измерений.
24. Документальное сопровождение радионавигационных систем.

#### **Перечень практических занятий и вопросов для контроля**

| <b>№<br/>п/п</b> | <b>Наименование лабораторной работы</b>                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1                | Исследование дальномерного позиционного метода, ч.1           |
| 2                | Исследование дальномерного позиционного метода, ч.2           |
| 3                | Исследование погрешности оценки навигационных параметров, ч.1 |
| 4                | Исследование погрешности оценки навигационных параметров, ч.2 |
| 5                | Исследование и сравнение различных позиционных методов, ч.1   |
| 6                | Исследование и сравнение различных позиционных методов, ч.2   |
| 7                | Исследование калмановской фильтрации в радионавигации, ч.1    |
| 8                | Исследование калмановской фильтрации в радионавигации, ч.2    |

| № работы | Название занятия и вопросы для контроля                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Шифр |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | <p>Исследование дальномерного позиционного метода</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Суть дальномерного позиционного метода определения координат объекта. Оценка дальности по прямому и переотраженному сигналу. Линии и поверхности положения.</li> <li>2. Псевдодальномерный метод. Определение и геометрическая интерпретация псевдодальности.</li> <li>3. Применение метода наименьших квадратов при оценке координат дальномерным методом. Линейный МНК.</li> <li>4. Применение метода наименьших квадратов при оценке координат дальномерным методом. Нелинейный МНК.</li> <li>5. Минимально необходимое число станций в двумерном и трехмерном дальномерном и псевдодальномерном методах для однозначной оценки координат. Алгебраическое (с точки зрения МНК) и геометрическое (с точки зрения линий положения) объяснение.</li> <li>6. Алгоритм градиентного поиска при нелинейном МНК. Влияние начальных координат и условия остановки на точность оценки координат.</li> <li>7. Влияние нестабильности бортовых часов объекта, ее связь с псевдодальностью и точностью оценки.</li> <li>8. Влияние нестабильности часов радионавигационных станций, связь с псевдодальностью и точностью оценки.</li> </ol>                                                                                                                                             | 5291 |
| 2        | <p>Исследование погрешности оценки навигационных параметров</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Смысл и математическое вычисление фактора размытия точности (PDOP). Влияние на СКО оценки координат. Фактор размытия псевдозадержки (TDOP) в режиме псевдодальности.</li> <li>2. Негеометрические источники погрешностей в радионавигационных системах. Погрешности первичной и вторичной обработки.</li> <li>3. Негеометрические источники погрешностей в радионавигационных системах. Влияние условий распространения радиоволн и гравитации (в спутниковых РНС).</li> <li>4. Топология радионавигационных ориентиров с нормальной и слабой геометрией. Связь топологии, фактора PDOP и точности оценки координат.</li> <li>5. Влияние числа радионавигационных ориентиров на точность оценки координат. Минимально приемлемое число станций при оценке в режиме дальности и псевдодальности в двумерном и трехмерном случае, математическое объяснение.</li> <li>6. Радиально-скоростной метод определения вектора скорости. Формула МНК-оценки. Радиальная скорость и доплеровский сдвиг.</li> <li>7. Влияние нестабильности опорных генераторов станций и объекта на оценку скорости. Требования к стабильности. Псевдоскорость – определение и формула.</li> <li>8. Радиально-псевдоскоростной метод. Суть и аналогия с псевдодальномерным методом.</li> </ol> | 5291 |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3 | <p>Исследование и сравнение различных позиционных методов</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разностно-дальномерный и суммарно-дальномерный методы. Сходство и различие. Линии положения на ближней дистанции и в глобальном масштабе.</li> <li>2. Угломерный метод на объекте и на станциях. Сходство и различие. Линии положения на ближней дистанции и в глобальном масштабе.</li> <li>3. Обоснуйте целесообразность применения режима «псевдо» в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, разностно-угломерном методе.</li> <li>4. Обоснуйте минимальное количество радионавигационных ориентиров, необходимое для однозначной оценки координат на поверхности, в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, дальномерно-угломерном, разностно-угломерном методе.</li> <li>5. Приведите сравнение точности характеристик дальномерного, псевдодальномерного, разностно-дальномерного метода и суммарно-дальномерного методов.</li> <li>6. Приведите сравнение точности характеристик угломерного, псевдоугломерного, разностно-угломерного метода и дальномерно-угломерного методов.</li> <li>7. Приведите сравнение точности радиально-скоростного, псевдорadiально-скоростного, угломерного метода оценки вектора скорости объекта.</li> <li>8. Приведите сравнение зон действия в дальномерном, разностно- и суммарно-дальномерном методах, угломерном методе на объекте и на станциях, дальномерно-угломерном, разностно-угломерном методе, при одинаковой геометрии и дальнодействии радионавигационных ориентиров.</li> </ol> | 5291 |
| 4 | <p>Исследование калмановской фильтрации в радионавигации</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Линейный фильтр Калмана. Источники и характер информации. Этапы предсказания и коррекции.</li> <li>2. Линейный фильтр Калмана. Матрицы эволюции и управления. Ковариационная матрица ошибок для предсказания неопределенности. Учет влияния окружающей среды.</li> <li>3. Линейный фильтр Калмана. Матрица наблюдений, шумы. Пересчет прогноза в систему координат датчиков и вычисление невязки. Усиление Калмана.</li> <li>4. Расширенный фильтр Калмана. Линеаризация передаточных функций для получения передаточных матриц неопределенности.</li> <li>5. Беззапаховый и частичный фильтры.</li> <li>6. Приведите сравнение устойчивости и вычислительной сложности линейного, расширенного и беззапахового фильтров при работе на плоской и сферической поверхностях.</li> <li>7. Какова связь ковариационной матрицы наблюдений и позиционного геометрического фактора?</li> <li>8. Исходя из каких критериев выбираются начальные условия для работы Фильтра Калмана: координаты и матрица неопределенности?</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5291 |

### Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

| №<br>п/п | Наименование лабораторной работы                                                               |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | МЭМС датчик ADIS16407. Работа с регистрами на низком уровне                                    |
| 2        | МЭМС датчик ADIS16407. Программная интерпретация показаний                                     |
| 3        | МЭМС датчик ADIS16407. Интегрирование, расчет ориентации связанной системы координат, выставка |
| 4        | МЭМС датчик ADIS16407. Калибровка, исследование шумов и фильтрации                             |

| №<br>работы | Название занятия и вопросы для контроля                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Шифр |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1           | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Работа с регистрами на низком уровне</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные характеристики датчика: структура, виды выходной информации, чувствительность, динамический диапазон, частота обновления данных.</li> <li>2. Временная диаграмма работы. CS, синхронизация, содержание старшего и младшего байт двухбайтового слова в режиме записи и чтения.</li> <li>3. Подключение через SPI интерфейс к ведущему устройству. Используемые выводы. Примеры осциллограмм.</li> <li>4. Перечень основных опрашиваемых регистров датчика.</li> <li>5. Чтение данных из конкретного регистра. Флаг новых данных, флаг ошибки. Чтение статуса регистра состояния.</li> <li>6. Двухбайтовая структура регистров. Обращение к старшему и младшему байтам. Пакетное чтение из 14 регистров (burst mode).</li> <li>7. Чтение по прерыванию. Использование выводов общего назначения (DIO).</li> <li>8. Виды регистров: R,W,R/W. Первый бит адреса как флаг записи-чтения, адрес регистра в режиме записи и чтения. Раздельная запись в старший и младший байт регистра.</li> </ol> |      |
| 2           | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Программная интерпретация показаний</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Биты значений, преобразование из дополнительного формата по необходимости, преобразование в непосредственное значение параметра (на примере регистров питания и температуры).</li> <li>2. Биты значений, преобразование из дополнительного формата по необходимости, преобразование в непосредственное значение параметра (на примере регистров угловой скорости и ускорения по оси z).</li> <li>3. Частота обновления данных и прореживание с усреднением. Установка коэффициента децимации и ширины окна усредняющего фильтра Бартлетта.</li> <li>4. Установка динамического диапазона гироскопа.</li> <li>5. Флаг ошибки и регистр самодиагностики. Само тестирование.</li> <li>6. Диапазон допустимых значений акселерометра.</li> <li>7. Диапазон допустимых значений гироскопа.</li> <li>8. Диапазон допустимых значений магнитометра.</li> </ol>                                                                                                                                                |      |



|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 3 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Интегрирование, расчет ориентации связанной системы координат, выставка</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расчет углов Эйлера-Крылова без предварительной выставки (начальное положение «ось X на север»). Кинематические уравнения.</li> <li>2. Эффект «Складывания рамок».</li> <li>3. Расчет кватерниона вращения без предварительной выставки (начальное положение «ось X на север»). Кинематические уравнения.</li> <li>4. Расчет кватерниона по углам Эйлера-Крылова. Особые точки.</li> <li>5. Расчет углов Эйлера-Крылова по кватерниону.</li> <li>6. Параметры Родрига-Гамильтона.</li> <li>7. Обобщенный алгоритм работы БИНС. Алгоритмы интегрирования показаний гироскопа и акселерометра.</li> <li>8. Выставка начального положения по показаниям акселерометра и магнитометра с использованием углов Эйлера-Крылова и кватерниона.</li> </ol> |  |
| 4 | <p>МЭМС датчик ADIS16407. Калибровка, исследование шумов и фильтрации</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получение статистики шумов акселерометра и гироскопа.</li> <li>2. Эффекты магнитного возмущения («soft iron», «hard iron»)..</li> <li>3. Эффект «набега» ошибки.</li> <li>4. Измерение дисперсии Аллана.</li> <li>5. Программная калибровка гироскопа, акселерометра, магнитометра.</li> <li>6. Аппаратная калибровка датчика путем записи корректирующих коэффициентов в регистры (на примере gyroscope bias, soft iron correction).</li> <li>7. Возможность экспорта данных корректирующих регистров в память flash датчика и откат к заводским установкам.</li> <li>8. Использование фильтра Калмана для совмещения показаний MARG (Fusion).</li> </ol>                                                                                                                    |  |

### Курсовой проект

Результатом проектирования должна быть структурная схема радионавигационной системы (ближнего действия, дальней навигации, азимутально-дальномерной, угломерной), расчет основных энергетических параметров системы, обеспечивающих заданные показатели точности навигации.

К выполнению работы должны привлекаться информационные материалы Регламента радиосвязи и стандартов, Рекомендаций МСЭ по использованию моделей радиоканалов и сигналов соответствующего диапазона.

К выполнению работы рекомендуется широко привлекать вычислительную технику как для выполнения расчетов, так и для возможного моделирования отдельных элементов проектируемой системы.

## Типовые задания на курсовое проектирование.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**доплеровского измерителя угла сноса и скорости (ДИСС).**

### Исходные данные по проектированию:

тип ДИСС – самолётный непрерывного излучения;

максимальная высота  $H_{\max}$  обнаружения отраженного сигнала с вероятностью правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 15000 м;

диапазон измерения угла сноса  $\gamma$ : от 0 максимального  $\gamma_{\max}$ , равного  $50^\circ$ ;

диапазон измерения путевой скорости  $V$ : от 0 максимальной  $V_{\max}$ , равной 400 м/с;

максимальная погрешность измерения угла сноса  $\delta\gamma$  - не более  $0,5^\circ$ ;

максимальная погрешность измерения путевой скорости  $\delta\zeta$  – не более  $\pm 1,0$  м/с;

метеоусловия работы – не хуже среднего дождя.

1. Рассчитать следующие технические характеристики высотомера:

рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн  
электромагнитных излучений  $f_0$  ( $\lambda_0$ );

типы и параметры приемного устройства: чувствительность  $P_{\text{пр. min}}$ , ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}}$ , ( $T_{\text{пр}}$ ), промежуточную(ые) частоту(ы)  $f_{\text{пр}}$ ;

типы и параметры приёмной и передающей антенн: коэффициенты направленного действия, коэффициенты усиления, эффективные площади антенн, ширина диаграммы направленности;

суммарные потери в тракте обработки сигналов  $\alpha_{\text{п}}$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\text{п}}$ ;

среднюю мощность передатчика  $P_{\text{ср.}}$ .

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части ДИСС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**высотомера на основе частотного метода измерения дальности.**

### Исходные данные по проектированию:

тип высотомера – непрерывного излучения с частотной модуляцией;

максимальная высота  $H_{\max}$  обнаружения отраженного сигнала с вероятностью правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 1500 м;

диапазон измерения высот: от 0 максимальной  $H_{\max}$ , равной 1500 м;

диапазон измерения вертикальной скорости на высотах до 50 м: от 0 максимальной  $V_{\max}$ , равной 12,5 м/с;

максимальная погрешность измерения высоты:

в диапазоне 0...15 м – не более  $\pm 1,5$  м,

в диапазоне 15...1500 м – не более 10%;

максимальная погрешность измерения вертикальной скорости – не более  $\pm 1,0$  м/с;  
метеоусловия работы – не хуже среднего дождя.

1. Рассчитать следующие технические характеристики РНС:

рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн  
электромагнитных излучений  $f_0$  ( $\lambda_0$ );

девиацию частоты  $\Delta f$ , другие параметры модуляции сигнала;

типы и параметры приемного устройства: чувствительность  $P_{пр. min}$ , ширина полосы  
пропускания  $\Delta f_{пр}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр}$ , ( $T_{пр}$ ),  
промежуточную(ые) частоту(ы)  $f_{пр}$ ;

типы и параметры приёмной и передающей антенн: коэффициенты направленного  
действия, коэффициенты усиления, эффективные площади антенн, ширина диаграммы  
направленности;

суммарные потери в тракте обработки сигналов  $\alpha_{п}$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{п}$ ;

среднюю мощность передатчика  $P_{ср.}$ .

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части  
высотомера.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**двухкоординатной радиолокационной станции обзора воздушного пространства и  
измерения координат воздушных объектов.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РЛС – с простым зондирующим сигналом;

определяемые координаты – дальность и угол азимута;

размеры антенной системы РЛС в плоскости азимута  $d\alpha$  - не более 3 м и угла места  
 $d\beta$  - не более 1,5 м;

максимальная дальность действия РЛС  $D_{max}$  не менее 200 км при обнаружении с  
вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,95 и вероятностью ложной тревоги  
 $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  воздушной цели средней эффективной площади отражения цели  $\bar{\sigma}_ц$  не  
более 20 м<sup>2</sup>;

диапазон высот обнаруживаемых целей  $H$  - не менее 10 км на дальности не более 5  
км и не менее 2 км на максимальной дальности;

разрешающая способность по дальности  $\delta_d$  – не хуже 200 м;

разрешающая способность по азимуту  $\delta_\alpha$  – не хуже 2,5°;

среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $\sigma_d$  не более – 50 м;

среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_\alpha$  – не более 1°;

метеоусловия работы – не хуже среднего дождя;

размеры зоны обзора по азимуту  $\pm\theta_\alpha$  - 360°;

период обзора заданного воздушного пространства  $T_0$  – не более 20 с.

1. Рассчитать следующие технические характеристики РЛС:

рабочую частоту (длину волны) зондирующего сигнала  $f_0$  ( $\lambda_0$ );  
 длительность импульса сигнала  $\tau_c$ ;  
 период (частоту) повторения зондирующих импульсов  $T_n$  ( $F_n$ );  
 тип и параметры антенной системы: коэффициент направленного действия  $G$ ,  
 коэффициент усиления  $K_A$ , эффективную площадь антенны  $S_{\Sigma}$ ;  
 тип приемного устройства РЛС и его параметры: чувствительность  $P_{пр.мин}$ , ширину  
 полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр}$  ( $T_{пр}$ );  
 суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РЛС  $\alpha_n$ ;  
 суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_n$ ;  
 параметры обзора: время облучения воздушной цели  $T_{обл}$  при заданном размере зоны  
 обзора  $2\theta_a$ , периоде обзора  $T_0$  и рассчитанной ширине ДНА по азимуту  $\theta_{0,5}^a$ ;  
 импульсную (среднюю) мощность передатчика РЛС  $P_n$  ( $P_{ср}$ ).

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РЛС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**двухкоординатной радиолокационной станции обзора воздушного пространства и  
 измерения координат воздушных объектов.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РЛС –со сложным зондирующим сигналом;  
 определяемые координаты – дальность и угол азимута;  
 размеры антенной системы РЛС в плоскости азимута  $d\alpha$  - не более 3 м и угла места  
 $d\beta$  - не более 1,5 м;  
 максимальная дальность действия РЛС  $D_{max}$  не менее 200 км при обнаружении с  
 вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  
 $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  воздушной цели средней эффективной площади отражения цели  $\bar{\sigma}_ц$  не  
 более  $10\text{ м}^2$ ;  
 диапазон высот обнаруживаемых целей  $H$  - не менее 10 км на дальности не более 5  
 км и не менее 2 км на максимальной дальности;  
 разрешающая способность по дальности  $\delta_d$  – не хуже 200 м;  
 разрешающая способность по азимуту  $\delta_a$  – не хуже  $2,5^\circ$ ;  
 среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $\sigma_d$  не более – 50 м;  
 среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_a$  – не более  $1^\circ$ ;  
 метеоусловия работы – не хуже среднего дождя;  
 размеры зоны обзора по азимуту  $\pm\theta_a$  -  $360^\circ$ ;  
 период обзора заданного воздушного пространства  $T_0$  – не более 20 с.

1. Рассчитать следующие технические характеристики РЛС:

рабочую частоту (длину волны) зондирующего сигнала  $f_0$  ( $\lambda_0$ );  
 длительность импульса сигнала  $\tau_c$ ;

период (частоту) повторения зондирующих импульсов  $T_{\Pi}$  ( $F_{\Pi}$ );  
 тип и параметры антенной системы: коэффициент направленного действия  $G$ ,  
 коэффициент усиления  $K_A$ , эффективную площадь антенны  $S_{\Sigma}$ ;  
 тип приемного устройства РЛС и его параметры: чувствительность  $P_{\text{пр. min}}$ , ширину  
 полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш. пр}}$  ( $T_{\text{пр}}$ );  
 суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РЛС  $\alpha_{\Pi}$ ;  
 суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\Pi}$ ;  
 параметры обзора: время облучения воздушной цели  $T_{\text{обл}}$  при заданном размере зоны  
 обзора  $2\theta_{\alpha}$ , периоде обзора  $T_0$  и рассчитанной ширине ДНА по азимуту  $\theta_{0.5}^{\alpha}$ ;  
 импульсную (среднюю) мощность передатчика РЛС  $P_{\Pi}$  ( $P_{\text{ср}}$ ).  
 2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РЛС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**трёхкоординатной радиолокационной станции обзора воздушного пространства и  
 измерения координат воздушных объектов.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РЛС – с простым зондирующим сигналом;  
 определяемые координаты – дальность, угол азимута и угол места;  
 размеры антенной системы РЛС - в плоскости азимута  $d\alpha$  - не более 2 м и угла места  
 $d\beta$  - не более 1 м;  
 максимальная дальность действия РЛС  $D_{\text{max}}$  - не менее 50 км при обнаружении с  
 вероятностью правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,95 и вероятностью ложной тревоги  
 $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-5}$  воздушной цели средней эффективной площади отражения цели  $\overline{\sigma}_{\text{ц}}$  не  
 более  $15 \text{ м}^2$ ;  
 диапазон высот обнаруживаемых целей  $H$  - не менее 10 км на дальности не более 3  
 км и не менее 0,5 км на максимальной дальности;  
 разрешающая способность по дальности  $\delta_D$  – не хуже 100 м;  
 разрешающая способность по азимуту  $\delta_{\alpha}$  и углу места  $\delta_{\beta}$  – не хуже  $1,5^{\circ}$ ;  
 среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $\sigma_D$  не более – 40 м;  
 среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_{\alpha}$  и угла места  $\sigma_{\beta}$  – не более  
 $1^{\circ}$ ;  
 метеоусловия работы – не хуже среднего дождя;  
 размеры зоны поиска цели по азимуту  $\pm\theta_{\alpha}$  и углу места  $\pm\theta_{\beta}$  -  $10^{\circ}$ ;  
 время поиска цели в зоне поиска  $T_0$  – не более 10 с.

**1. Рассчитать следующие технические характеристики РЛС:**

рабочую частоту (длину волны) зондирующего сигнала  $f_0$  ( $\lambda_0$ );  
 длительность импульса сигнала  $\tau_c$ ;  
 период (частоту) повторения зондирующих импульсов  $T_{\Pi}$  ( $F_{\Pi}$ );  
 тип и параметры антенной системы: коэффициент направленного действия  $G$ ,  
 коэффициент усиления  $K_A$ , эффективную площадь антенны  $S_{\Sigma}$ ;

тип приемного устройства РЛС и его параметры: чувствительность  $P_{пр.мин}$ , ширину полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр}$  ( $T_{пр}$ );  
 суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РЛС  $\alpha_n$ ;  
 суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_n$ ;  
 параметры обзора: время облучения воздушной цели  $T_{обл}$  при заданном размере зоны обзора  $2\theta_\alpha$  и  $2\theta_\beta$ , периоде обзора  $T_0$  и рассчитанной ширине ДНА по азимуту  $\theta_{0,5}^\alpha$ ;  
 импульсную (среднюю) мощность передатчика РЛС  $P_{и}$  ( $P_{ср}$ ).

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РЛС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**трёхкоординатной радиолокационной станции обзора воздушного пространства и измерения координат воздушных объектов.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РЛС – со сложным зондирующим сигналом;  
 определяемые координаты – дальность, угол азимута и угол места;  
 размеры антенной системы РЛС - в плоскости азимута  $d_\alpha$  - не более 2 м и угла места  $d_\beta$  - не более 1 м;  
 максимальная дальность действия РЛС  $D_{max}$  - не менее 50 км при обнаружении с вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-5}$  воздушной цели средней эффективной площади отражения цели  $\bar{\sigma}_ц$  не более  $10\text{ м}^2$ ;  
 диапазон высот обнаруживаемых целей  $H$  - не менее 10 км на дальности не более 3 км и не менее 0,5 км на максимальной дальности;  
 разрешающая способность по дальности  $\delta_d$  – не хуже 100 м;  
 разрешающая способность по азимуту  $\delta_\alpha$  и углу места  $\delta_\beta$  – не хуже  $1,5^\circ$ ;  
 среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $\sigma_d$  не более – 40 м;  
 среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_\alpha$  и угла места  $\sigma_\beta$  – не более  $1^\circ$ ;  
 метеоусловия работы – не хуже среднего дождя;  
 размеры зоны поиска цели по азимуту  $\pm\theta_\alpha$  и углу места  $\pm\theta_\beta$  -  $10^\circ$ ;  
 время поиска цели в зоне поиска  $T_0$  – не более 10 с.

**1. Рассчитать следующие технические характеристики РЛС:**

рабочую частоту (длину волны) зондирующего сигнала  $f_0$  ( $\lambda_0$ );  
 длительность импульса сигнала  $\tau_c$ ;  
 период (частоту) повторения зондирующих импульсов  $T_{п}$  ( $F_{п}$ );  
 тип и параметры антенной системы: коэффициент направленного действия  $G$ , коэффициент усиления  $K_A$ , эффективную площадь антенны  $S_\Sigma$ ;  
 тип приемного устройства РЛС и его параметры: чувствительность  $P_{пр.мин}$ , ширину полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр}$  ( $T_{пр}$ );  
 суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РЛС  $\alpha_n$ ;

- суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\pi}$ ;  
 параметры обзора: время облучения воздушной цели  $T_{\text{обл}}$  при заданном размере зоны обзора  $2\theta_{\alpha}$  и  $2\theta_{\beta}$ , периоде обзора  $T_0$  и рассчитанной ширине ДНА по азимуту  $\theta_{0,5}^{\alpha}$ ;  
 импульсную (среднюю) мощность передатчика РЛС  $P_{\pi}$  ( $P_{\text{ср}}$ ).
2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РЛС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**угломерной РНС определения пеленга по углу места на основе амплитудного метода**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – угломерная, пассивная;  
 вид принимаемого сигнала – непрерывный, амплитудно-модулированный;  
 максимальная дальность  $D_{\text{max}}$  обнаружения сигнала глассадного радиомаяка средней мощностью  $P_{\text{ср.о}}$  25 Вт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_0$  20 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,95 и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-5}$  – не менее 20 км;

разрешающая способность по углу  $\delta_{\alpha}$  – не хуже 0,25°;

размеры рабочей зоны по углу  $\pm\theta_{\alpha}$  -  $\pm 45^\circ$  относительно продольной оси ЛА;

максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{\text{в.мак}}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{\text{г.мак}}$  – не более 0,9 м;  
 метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:

рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн электромагнитных излучений  $f_0$  ( $\lambda_0$ );

тип антенной системы пеленгатора;

тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}}$  ( $T_{\text{пр}}$ ), промежуточная частота  $f_{\text{пр}}$ ;

суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{\pi}$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\pi}$ ;

требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения заданной максимальной дальности действия  $D_{\text{max}}$ .

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**разностно-дальномерной РНС на основе фазового метода измерения дальности.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – когерентная, непрерывного излучения с фазовой модуляцией;

максимальная дальность  $D_{\text{макс}}$  обнаружения запросного сигнала приёмником ответчика с чувствительностью  $P_{\text{пр мин о}}$  10 мкВт и коэффициентом направленного

действия антенны ответчика  $G_o$  20 дБ с вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 400 км;

максимальная дальность  $D_{max}$  обнаружения сигнала передатчика ответчика средней мощностью  $P_{ср.о}$  20 кВт и коэффициентом направленного действия антенны ответчика  $G_o$  20 дБ с вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,98 и вероятностью ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 400 км;

диапазон однозначного измерения дальности: от максимальной  $D_{max}$ , равной 400 км, до минимальной  $D_{min}$ , равной 0,5 км;

максимальная погрешность измерения дальности:

в диапазоне 100...400 км – не более  $3\sigma_{d1} = 5$  км,

в диапазоне 10...100 км – не более  $3\sigma_{d2} = 1$  км,

в диапазоне 0,5...10 км – не более  $3\sigma_{d2} = 0,05$  км;

метеоусловия работы – не хуже среднего дождя.

1. Рассчитать следующие технические характеристики РНС:

рабочие (несущие) частоты запросного и ответного сигналов и соответствующие им длины волн электромагнитных излучений запросчика  $f_z$  ( $\lambda_z$ ) и ответчика  $f_o$  ( $\lambda_o$ );

масштабные частоты: точная  $F_T$ ; промежуточная  $F_{пр}$ , грубая  $F_{гр}$ ;

типы и параметры приемного устройства запросчика: чувствительность  $P_{пр. min з}$ , ширина полосы пропускания  $\Delta f_{пр.з}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр.з}$ , ( $T_{пр.з}$ ), промежуточную(ые) частоту(ы)  $f_{пр.з}$ ;

типы и параметры приёмной и передающей антенн запросчика  $A_z$ : коэффициенты направленного действия, коэффициенты усиления, эффективные площади антенн;

суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_n$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_n$ ;

среднюю мощность передатчика запросчика  $P_{ср.з}$ .

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку

**запросно-ответной дальномерной РНС**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – с активным ответом;

вид принимаемого сигнала – импульсный;

максимальная дальность  $D_{max}$  обнаружения ответного сигнала наземного радиомаяка средней мощностью  $P_{ср.о}$  2,5 кВт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_o$  10 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,96 и вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 250 км;

вероятность правильного обнаружения  $P_{по}$  запросного сигнала не менее 0,9 при вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  на расстоянии не менее 250 км;

размеры рабочей зоны по курсу  $\pm\theta_a - \pm 45^\circ$  относительно продольной оси ЛА;

максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах



фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{в.мах}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{г.мах}$  – не более 0,9 м;  
метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:  
рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн  
электромагнитных излучений  $f_0 (\lambda_0)$ ;  
тип антенной системы;  
тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ ,  
коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр} (T_{пр})$ , промежуточная частота  $f_{пр}$ ;  
суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{п}$ ;  
суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{п}$ ;  
требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения  
заданной максимальной дальности действия  $D_{мах.}$ ;  
требуемую среднюю мощность излучения запросного сигнала.
2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку

**угломерной РНС определения курса на основе амплитудного метода**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – угломерная, пассивная;  
вид принимаемого сигнала – непрерывный, амплитудно-модулированный;  
максимальная дальность  $D_{мах}$  обнаружения сигнала курсового радиомаяка (КРМ)  
средней мощностью  $P_{ср.о}$  25 Вт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_0$  20  
дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{по}$  не менее 0,96 и вероятности ложной  
тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 50 км;  
разрешающая способность по курсу  $\delta_\alpha$  – не хуже  $0,25^\circ$ ;  
размеры рабочей зоны по курсу  $\pm\theta_\alpha$  -  $\pm 45^\circ$  относительно продольной оси ЛА;  
максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах  
фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{в.мах}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{г.мах}$  – не более 0,9 м;  
метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:  
рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн  
электромагнитных излучений  $f_0 (\lambda_0)$ ;  
тип антенной системы пеленгатора;  
тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ ,  
коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр} (T_{пр})$ , промежуточная частота  $f_{пр}$ ;  
суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{п}$ ;  
суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{п}$ ;  
требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения  
заданной максимальной дальности действия  $D_{мах.}$
2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**маркерной РНС на основе амплитудного метода измерения угловых координат.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – угломерная, пассивная;

вид принимаемого сигнала –с импульсно-кодовой модуляцией;

максимальная дальность  $D_{\max}$  обнаружения сигнала маркерного радиомаяка (МРМ) средней мощностью  $P_{\text{ср.о}}$  25 Вт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_o$  20 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,99 и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-5}$  – не менее 20 км;

разрешающая способность по углу  $\delta_\alpha$  – не хуже  $0,25^\circ$ ;

размеры рабочей зоны по углу  $\pm\theta_\alpha$  -  $\pm 45^\circ$  относительно продольной оси ЛА;

максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{\text{в.мак}}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{\text{г.мак}}$  – не более 0,9 м; метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:

рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн электромагнитных излучений  $f_o$  ( $\lambda_o$ );

тип антенной системы;

тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}}$  ( $T_{\text{пр}}$ ), промежуточная частота  $f_{\text{пр}}$ ;

суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{\text{п}}$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\text{п}}$ ;

требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения заданной максимальной дальности действия  $D_{\max}$ .

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**угломерной РНС определения пеленга на основе амплитудного метода измерения дальности .**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – угломерная, пассивная;

вид принимаемого сигнала –непрерывный, амплитудно-модулированный;

максимальная дальность  $D_{\max}$  обнаружения сигнала курсового радиомаяка (КРМ) средней мощностью  $P_{\text{ср.о}}$  25 Вт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_o$  20 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,96 и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 50 км;

разрешающая способность по курсу  $\delta_\alpha$  – не хуже  $0,25^\circ$ ;

размеры рабочей зоны по курсу  $\pm\theta_\alpha$  -  $\pm 45^\circ$  относительно продольной оси ЛА;

максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{\text{в.мак}}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{\text{г.мак}}$  – не более 0,9 м;

метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:  
рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн электромагнитных излучений  $f_0 (\lambda_0)$ ;  
тип антенной системы пеленгатора;  
тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}} (T_{\text{пр}})$ , промежуточная частота  $f_{\text{пр}}$ ;  
суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{\text{п}}$ ;  
суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\text{п}}$ ;  
требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения заданной максимальной дальности действия  $D_{\text{max}}$ .
2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку  
**угломерной РНС на основе амплитудно-фазового метода измерения угла.**

**Исходные данные по проектированию:**

- тип РНС – угломерная, пассивная;
- вид принимаемого сигнала – непрерывный;
- максимальная дальность  $D_{\text{max}}$  обнаружения сигнала радиомаяка (РМ) средней мощностью  $P_{\text{ср.о}}$  2 кВт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_0$  20 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,96 и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 50 км;
- разрешающая способность по азимуту  $\delta\alpha$  – не хуже  $2^\circ$ ;
- среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_\alpha$  – не более  $1,5^\circ$ ;
- размеры рабочей зоны по азимуту  $\pm\theta_\alpha - \pm 15^\circ$ , по углу места  $\pm\theta_\beta - \pm 30^\circ$  относительно продольной оси ЛА;
- максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{\text{в. max}}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{\text{г. max}}$  – не более 0,9 м;
- метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:  
рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн электромагнитных излучений  $f_0 (\lambda_0)$ ;  
тип элементарных облучателей антенной системы пеленгатора;  
тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}} (T_{\text{пр}})$ , промежуточная частота  $f_{\text{пр}}$ ;  
суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{\text{п}}$ ;  
суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\text{п}}$ ;  
требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения заданной максимальной дальности действия  $D_{\text{max}}$ .

По результатам расчета производится анализ по возможности реализации технических характеристик радиосистемы, а также выбор и обоснование структурной

схемы фазовой суммарно-разностной пеленгационной системы.

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку

**угломерной РНС на основе фазового метода измерения дальности.**

**Исходные данные по проектированию:**

тип РНС – угломерная, пассивная;

вид принимаемого сигнала – непрерывный;

максимальная дальность  $D_{\max}$  обнаружения сигнала радиомаяка (РМ) средней мощностью  $P_{\text{ср.о}}$  2 кВт и коэффициентом направленного действия антенны  $G_o$  20 дБ при вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{по}}$  не менее 0,96 и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$  не более  $10^{-3}$  – не менее 50 км;

разрешающая способность по азимуту  $\delta\alpha$  – не хуже  $2^\circ$ ;

среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $\sigma_\alpha$  – не более  $1,5^\circ$ ;

размеры рабочей зоны по азимуту  $\pm\theta_\alpha - \pm 15^\circ$ , по углу места  $\pm\theta_\rho - \pm 30^\circ$  относительно продольной оси ЛА;

максимальные допустимые размеры антенной системы, размещаемой в пределах фюзеляжа ЛА: по вертикали  $d_{\text{в.макс}}$  – не более 1 м, по горизонтали  $d_{\text{г.макс}}$  – не более 0,9 м; метеоусловия - любые.

1. Рассчитать (выбрать) следующие технические характеристики РНС:

рабочую (среднюю) частоту сигнала и соответствующую им длину волн электромагнитных излучений  $f_o (\lambda_o)$ ;

тип элементарных облучателей антенной системы пеленгатора;

тип и параметры приемного устройства: ширина полосы пропускания  $\Delta f_{\text{пр}}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{\text{ш.пр}} (T_{\text{пр}})$ , промежуточная частота  $f_{\text{пр}}$ ;

суммарные потери в тракте обработки сигналов реальной РНС  $\alpha_{\text{п}}$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_{\text{п}}$ ;

требуемую реальную чувствительность приемного устройства для обеспечения заданной максимальной дальности действия  $D_{\max}$ .

По результатам расчета производится анализ по возможности реализации технических характеристик радиосистемы, а также выбор и обоснование структурной схемы фазовой суммарно-разностной пеленгационной системы.

2. Выбрать и составить структурную схему передающей (приёмной) части РНС.

Студенту \_\_\_\_\_ произвести разработку

**аппаратуры потребителя спутниковой радионавигационной системы (СРНС).**

**Исходные данные по проектированию:**

тип СРНС – импульсного фазоманипулированного излучения;

общее число навигационных спутников (НС) – 24;

число НС на орбите – 8;

число орбит – 3;  
тип орбит – круговая;  
высота орбит – 19100 км;  
несущие частоты радионавигационных сигналов: сигнал пониженной точности (ПТ) 1602,5625...1615,5 МГц, сигнал высокой точности (ВТ) 1246,4375...1256,5 МГц;  
способ разделения сигналов НС – частотный;  
мощность сигнала НС – 64 Вт;  
коэффициент усиления антенны НС – 10 дБ (по центру диаграммы направленности) и 12 дБ (в углах  $\pm 15^\circ$  от центра);  
вероятность правильного обнаружения  $P_{по}$  сигнала НС при вероятности ложной тревоги  $P_{лт}$  не более  $10^{-5}$  – не менее 0,98;  
период повторения дальномерного кода – 1 мс;  
тактовая частота дальномерного кода – 0,511 МГц;  
скорость передачи эфемеридной информации – 50 бит/с;  
ошибка по координатам в вертикальной плоскости – не более 12,5 м;  
ошибка по координатам в горизонтальной плоскости – не более 8,5 м;  
сферическая ошибка по координатам – не более 15 м;  
сферическая ошибка по скорости – не более 0,2 м/с

1. Рассчитать следующие технические характеристики аппаратуры потребителя СРНС:

рабочие (средние) частоты сигналов и соответствующие им длины волн электромагнитных излучений  $f_0$  ( $\lambda_0$ ) НС;

типы и параметры приемного устройства: чувствительность  $P_{пр. min}$ , ширина полосы пропускания  $\Delta f_{пр}$ , коэффициент шума (шумовая температура)  $K_{ш.пр}$ , ( $T_{пр}$ ), промежуточную(ые) частоту(ы)  $f_{пр}$ ;

типы и параметры приёмной: коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, эффективная площадь антенны, ширина диаграммы направленности;

суммарные потери в тракте обработки сигналов  $\alpha_n$ ;

суммарные потери в среде распространения ЭМВ  $\delta_n$ ..

2. Выбрать и составить структурную схему радиоприёмной части (схемы слежения за задержкой сигнала, схемы слежения за частотой сигнала) аппаратуры потребителя СРНС.