МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

УТВЕРЖДА	Ю
Заведующий	кафедрой
Радиотехнич	еские
информацион	нные системы
	_ Боев С.Ф.
«»	20 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

промежуточной аттестации: <u>экзамен</u> «Радионавигационные системы»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны <u>в соответствие с рабочей программой дисциплины,</u> утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020г.

Разработчик: к.т.н., доцент, профессор каф. РИС ____ В.К. Кемайкин

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Погрешность местоопределения на плоскости позиционным методом. Составляющие погрешности, связь между оценкой погрешности места и по погрешностям линий положения.

Правильный ответ:

Погрешность местоопределения на плоскости позиционным методом зависит от погрешностей определения поверхностей и линий положения, которые, в свою очередь, обусловливаются погрешностями измерения навигационных параметров.

Составляющие погрешности включают:

- Погрешность поверхности положения измеряется по нормали к поверхности и определяется разностью между истинным и найденным значениями навигационного параметра.
- Геометрический фактор. Ошибка определения поверхности положения всегда может быть представлена как произведение ошибки измерения параметра на коэффициент, зависящий от геометрии устройства.

Связь между оценкой погрешности места и погрешностями линий положения заключается в том, что при использовании позиционного метода местоположение объекта определяется как точка пересечения двух или более линий положения. Погрешности, возникающие при определении каждой линии положения, приводят к погрешностям определения местоположения объекта.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Двухчастотный метод устранения ионосферной погрешности при измерении навигационных величин в диапазоне УКВ.

Правильный ответ:

Двухчастотный метод устранения ионосферной погрешности при измерении навигационных величин предполагает использование зависимости ионосферной задержки от частоты.

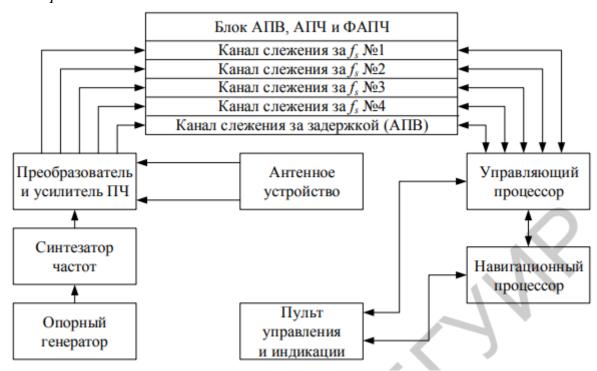
Суть метода состоит в том, что в радионавигационных приёмниках измеряют параметры принятых спутниковых сигналов и дальности до видимых спутников. Затем исключают систематическую ошибку измерений за счёт формирования линейных комбинаций этих измерений на двух известных частотах принятых сигналов. После этого формируют локальную модель вертикальной ионосферной ошибки дальности в виде вертикальной задержки сигнала в ионосфере и её градиентов по широте и долготе в окрестности расположения аппаратуры.

В качестве измеренных параметров принятых спутниковых сигналов используют доплеровские приращения дальностей на двух когерентных частотах. Параметры локальной модели вертикальной ионосферной ошибки дальности для моментов времени усреднённых измерений сглаживают, умножают на фактор угла наклона соответствующего спутника и при оценке сформированной модели ионосферной ошибки дальности получают наклонную ионосферную ошибку дальности до соответствующего спутника.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Составить функциональную схему аппаратуры потребителя системы спутниковой навигации ГЛОНАСС. Исходные данные: - количество приемных каналов — четыре; - использовать открытый код дальномерного сигнала.

Правильный ответ:



Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Завелующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_2

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Основные функции и параметры НРНСК. Классификация.

Правильный ответ:

Основные функции наземных радионавигационных систем и комплексов:

- определение местоположения объекта;
- обеспечение навигационной информацией о параметрах движения объекта, элементах его суммарного сноса под действием совокупности различных факторов;
- контроль за фактическим перемещением объекта относительно выбранной траектории движения.

Основные параметры:

- Дальность действия. Это максимальное расстояние в пределах рабочей зоны системы, на котором ещё обеспечивается требуемая точность. Дальность во многом зависит от условий распространения радиоволн и технических характеристик системы.
- Время обзора (поиска). Время, необходимое для однократного обзора заданной зоны действия системы.
- Определяемые параметры (координаты), их число и точность измерения.
- Разрешающая способность. Возможность разделения полезного сигнала (несущего информацию о координатах и движении объекта) и мешающих сигналов, подобных по форме полезному, но не содержащих достоверной информации об объекте.
- Пропускная способность. Число объектов, обслуживаемых системой одновременно или в единицу времени.

- Помехозащищённость. Способность системы надёжно выполнять свои функции в условиях воздействия непреднамеренных и организованных помех.
- Надёжность. Вероятность безотказной работы в течение требуемого интервала времени.

Классификация наземных радионавигационных систем и комплексов может проводиться по следующим признакам:

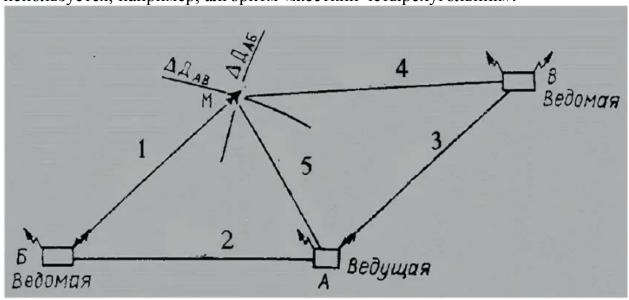
- Назначение. В соответствии с ним различают радиосистемы глобальной, дальней и ближней навигации, посадки, сближения и стыковки ЛА и предупреждения столкновений движущихся объектов.
- Метод определения местоположения (вид навигационных параметров). По этому признаку системы делят на дальномерные, разностнодальномерные и радиально-скоростные.
- Вид параметра сигнала, содержащего навигационную информацию. По этому признаку системы делят на амплитудные, импульсные (временные), фазовые и частотные.
- **2.** Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» 0 или 2 балла: Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях. Безъякорное позиционирование. Алгоритм «жесткий четырехугольник».

Правильный ответ:

Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях:

- Метод наименьших квадратов. Проекция на выпуклые множества, многоскачковые методы.
- Метод минимума-максимума. Шагово-итерационные методы, позиционирование без определения расстояния.
 - интерферометрия

Безъякорное позиционирование предполагает определение положения объекта на основе данных от других устройств в сети. Для этого используется, например, алгоритм «жёсткий четырехугольник»:



3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Рассчитать погрешность измерения квазискорости в СРНС. Исходные данные:

Рабочие длины волн GPS: λ_1 =19 см и λ_2 =24,5 см;

Время единичных измерений $T_{\rm H}$ =200 мс.

Полоса пропускания следящего измерителя квазискорости: Δf_{ϕ} =20 Гц.

Отношение мощности сигнала и спектральной плотности шума приемника потребителя $P_c/N_0=1000~\Gamma$ ц.

Правильный ответ:

Рассчитаем ошибку измерения доплеровского сдвига частоты:

$$oldsymbol{ au}_{\Phi^{ extsf{J}} oldsymbol{F}_{oldsymbol{g}}} = \sqrt{oldsymbol{\mathcal{S}}^{\hat{}}_{\scriptscriptstyle{\mathrm{SKB}}}/oldsymbol{T}_{\scriptscriptstyle{\mathrm{H}}}},$$

где
$$\mathcal{S}_{\scriptscriptstyle \mathrm{ЭKB}} = \frac{\left(\Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}\right)^2 \cdot (\mathbf{1} + \boldsymbol{\rho})}{4\pi \cdot \boldsymbol{\rho}^2 \cdot \Delta F_g}; \; \boldsymbol{\rho} = \frac{P_c}{N_0} \cdot T_{\mathrm{KH}}; \; T_{\mathrm{KH}} = \frac{1}{\Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}}; \; \Delta F_g = \frac{1}{T_H} + \Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$au_{\phi \pi V_1} = \lambda_1 \cdot au_{\phi \pi F_g} = 6.8 \,\, \mathrm{cm/c}$$

$$au_{\phi\pi V_2} = \lambda_2 \cdot au_{\phi\pi F_g} = 8.8 \text{ cm/c}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _______ В.К. Кемайкин Заведующий каф. РИС ______ С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_3

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Место наземных РНС в общей структуре. Используемые системы координат.

Правильный ответ:

Наземные радионавигационные системы (РНС) занимают определённое место в общей структуре навигации, обеспечивая определение местоположения объектов на расстояниях, превышающих дальность прямой видимости. Например, радиосистемы дальней навигации (РСДН) работают на километровых (длинных) и мириаметровых (сверхдлинных) волнах и рассчитывают положение по дальностям или разностям дальностей до наземных опорных станций, дальность действия которых составляет несколько тысяч километров. Радиосистемы ближней навигации (РСБН) служат для определения местоположения в зоне прямой видимости наземных опорных станций (радиомаяков), работающих в дециметровом диапазоне волн.

В наземных РНС используются различные системы координат:

- Местные системы координат. Начало которых связывается с Землёй. Используются при сравнительно небольших перемещениях, когда кривизной Земли можно пренебречь и её поверхность считается плоской.
- Глобальные системы координат. Жёстко связаны с Землёй и применяются для навигации, охватывающей всю земную поверхность или значительную её часть. Наиболее распространёнными глобальными системами координат являются географическая (или геодезическая) и геоцентрическая системы координат.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях. Метод минимума-максимума. Шагово-итерационные методы. Позиционирование без определения расстояния.

Правильный ответ:

Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях:

- Метод наименьших квадратов. Проекция на выпуклые множества, многоскачковые методы.
- Метод минимума-максимума. Шагово-итерационные методы, позиционирование без определения расстояния.
 - интерферометрия.

Метод минимума-максимума (min-max). Это упрощение метода трилатерации, при котором координаты искомого узла определяются в точке пересечения диагоналей прямоугольника, образованного пересечением квадратов, описанных вокруг окружностей диаграмм направленности антенн узлов с уже известными координатами. Метод приводит к увеличению погрешности оценивания координат узла по сравнению с методом трилатерации.

Шагово-итерационный метод — это метод расчёта, в котором при каждом последовательном загружении происходит повторение расчёта для учёта невязок, полученных при расчёте на каждом шаге приложения нагрузки.

Один из методов позиционирования без определения расстояния в радионавигации — IMES. В нём используются маяки — радиопередатчики, выдающие очень слабый сигнал, который предназначен только для передачи данных, но не для определения расстояния. Мощность каждого передатчика настолько низка, что сигнал может быть принят только в радиусе 10 метров от передатчика. Система позиционирования работает по принципу «если ты меня слышишь, то ты здесь». Точность такой системы не превышает 10 метров.

Также методам позиционирования К В радионавигации относят позиционирование по технологии «ближнего поля» (Near-field electromagnetic ranging — NFER). В системах NFER приёмник определения расстояния измеряет разность фаз между электрической и магнитной составляющими излучаемого меткой электромагнитного поля

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик СРНС. Исходные данные:

Высота орбиты навигационных спутников: Н_с=19 100 км; Период обращения вокруг Земли: $T_{00}=12$ ч; Длительность дискрета псевдослучайной последовательности: Т_л=1 мкс; Отношение мощности сигнала к спектральной плотности шума радиоприемника потребителя: τ^2 _с/N₀=10³ Гц; Полоса флуктуаций сигнала: Δf_{ϕ} =25 Гц; Время однократного $T_{\nu} = 50$ MC; Время работы измерения аппаратуры навигационными спутниками Т_н=12 ч; Полоса пропускания следящего измерителя дальности: $\Delta f_{\alpha 0}$; Время когерентного накопления сигнала: $T_{\kappa H}$; Диапазон блуждания времени запаздывания сигнала: Δt_{r0} ;.

Правильный ответ:

Разрешающая способность по дальности равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = c \cdot T_{\text{A}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} = 300 \text{ M}.$$

флуктуационную ошибку измерения псевдодальности, обусловленную внутренними шумами приемника потребителя:

т. к.
$$\rho = \frac{\tau_c^2 \cdot T}{N_0}$$
, а $F_{II} = \frac{1}{T_{\kappa H}}$

Тогда

$$\tau_{\Phi^{\pi} \eta_{1}}^{2} = \frac{\left(\Delta r\right)^{2}}{4\pi \cdot \frac{\tau_{c}^{2}}{N_{0}} \cdot T_{\alpha_{0}}}.$$

Здесь $T_{\alpha_0} = \frac{1}{\Delta f_{\alpha_0}}$ – память следящей системы измерителя псевдодальности, а $\frac{\tau_{\rm c}^2}{N_0} \cdot T_{\alpha_0}$ — отношение сигнал/шум по мощности при времени когерентного накопления, равном памяти замкнутой следящей системы измерителя псевдодальности.

Полагая систему слежения за задержкой кода астатической первого порядка, находим

$$\tau_{\Phi}^2 r_1 = \frac{\left(\Delta r\right)^2}{4\pi \cdot \frac{\tau_c^2}{N_0}} \cdot \frac{K_{\nu_z}}{2},$$

где K_{v_z} – коэффициент преобразования по скорости измерителя псевдодальности.

флуктуационной ошибки Результаты расчета измерителя псевдодальности, обусловленной внутренними шумами приемника аппаратуры потребителя в зависимости от полосы пропускания замкнутого следящего измерителя псевдодальности Δf_{α_0} сведем в табл. 19.1.

Таблица 19.1 Результаты расчета флуктуационной ошибки измерителя псевдодальности

$\Delta f_{\alpha_0} = \frac{K_{v_z}}{2}, \ 1/c$	0,5	0	10	15	20	25	50
$ au_{\varphi\pi\eta}$, м	1,9	6	8,5	10,4	12	13,4	19

Рассчитаем динамическую ошибку измерения псевдодальности по формуле

$$\tau_{\text{ДИН}r} = \frac{V_r}{K_{V_z}},$$

где V_r — радиальная составлявшая скорости $V_{\rm c}$ навигационного спутника ($V_r = V_{\rm c} \cdot \sin \alpha$, рис. 19.1).

Из рис. 19.1 получим

$$V_{\rm c} = \frac{2\pi \left(H_{\rm c} + R_{\rm 3}\right)}{T_{\rm o6}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \left(19\ 100 + 6400\right) \cdot 10^{\rm 3}}{12 \cdot 3600} = 3700 \ {\rm m/c} \ ,$$

где $R_3 = 6400$ км.

Для аппаратуры гражданских потребителей $\alpha = 5^{\circ}$. Тогда

$$V_r = 3700 \cdot 0,087 = 322 \text{ m/c}.$$

Находим динамическую ошибку в зависимости от полосы пропускания замкнутого следящего измерителя псевдодальности, а результаты расчетов сведем в табл. 19.2.

Таблица 19.2

Результаты расчета динамической ошибки $\Delta f_{\alpha_0} = \frac{K_{\nu_z}}{2}, \ 1/c \qquad 0,5 \qquad 0 \qquad 10 \qquad 15 \qquad 20 \qquad 25 \qquad 50$ $\tau_{\phi_{nr_i}}, \ M \qquad 322 \quad 32,2 \quad 16,1 \quad 10,7 \quad 8 \qquad 4,4 \qquad 3,2$

Сопоставляя $\tau_{\phi n r_1}$ и $\tau_{\text{дин} r_1}$, находим оптимальное значение Δf_{α_0} , при котором эти ошибки примерно одинаковы:

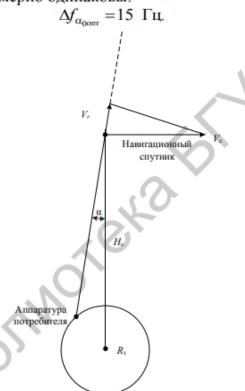


Рис. 19.1. Диаграмма для расчета радиальной составляющей вектора скорости навигационного спутника

флуктуационную ошибку измерения псевдодальности, обусловленную «шумами дальности», возникающими из-за дисперсных явлений скорости распространения электромагнитных волн:

$$\tau_{\phi,nr_2}^2 = S''_{\text{ЭКВ}r} \cdot \frac{T}{T} \cdot \Delta f_{\alpha_0},$$

Тогда окончательно

$$\tau_{\phi_{ЛP}} = \frac{c \cdot \Delta t_{rc}}{\sqrt{4\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{\alpha_0}}{\Delta F_{NC}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0, 4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot \sqrt{3,14}} \cdot \sqrt{\frac{15}{45}} = 19,6 \text{ м} \,.$$

Особенность этой ошибки состоит в наличии сильной пространственной обусловленной тем, что условия распространения электромагнитных волн через ионосферу и тропосферу характеризуются радиусом пространственной корреляции, соизмеримым с радиусом Земли, что создает предпосылки для компенсации этой составляющей ошибки в дифференциальном режиме работы СРНС.

Таким образом, общая ошибка измерения псевдодальности равна
$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\tau_{\varphi\Pi\prime\uparrow}^2 + \tau_{ДИН}^2 + \tau_{\varphi\Pi\prime\uparrow}^2} = \sqrt{10.4^2 + 10.7^2 + 19.6^2} = 24.6 \, \text{м} \, .$$

С учетом того что ошибка местоопределения объекта наблюдения в результате совместного решения четырех навигационных уравнений примерно удваивается, суммарная ошибка $\sigma \approx 2\sigma_{\Sigma} \approx 50$ м.

Критерии итоговои оценки за экзамен:	
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;	
«хорошо» - при сумме баллов 4;	
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;	
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или	2.
Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_4

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Действующие наземные радионавигационные системы. Loran-C и «Чайка». Принцип действия и структура сигналов.

Правильный ответ:

Принцип действия:

Аппаратура потребителя производит прием, усиление, грубый поиск сигналов ведущей и ведомых, точный поиск (допоиск), слежение за фазой сигналов, устранение неоднозначности фазовых измерений, измерение РНП и определение координат потребителя.

Структура сигналов:

Навигационные сигналы системы «Лоран» состоят из пачек импульсов, содержащих девять (ведущая ОС) или восемь (ведомые ОС) импульсов с когерентным заполнением. Импульсы (кроме девятого) кодируются по фазе дополнительными кодами Голея. Ведущие ОС излучают сигналы в строгой последовательности, определяемой задержками tзi, после приема сигнала ведущей ОС всегда следует сигнал ведомой ОС-Х, затем ОС-У и т. д. Групповой период повторения индивидуален для каждой цепочки ОС и служит для опознавания последней. Форма огибающей каждого импульса контролируется при формировании на ОС.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях. Метод наименьших квадратов. Проекция на выпуклые множества. Многоскачковые методы.

Методы позиционирования в беспроводных сенсорных сетях:

- Метод наименьших квадратов. Проекция на выпуклые множества, многоскачковые методы.
- Метод минимума-максимума. Шагово-итерационные методы, позиционирование без определения расстояния.

• интерферометрия.

Метод наименьших квадратов (LLS) — это неоптимальный, но малозатратный алгоритм локализации в беспроводных сенсорных сетях, основанный на измерениях параметров, связанных с местоположением. Существует два типа алгоритмов локализации LLS, использующих измерения дальности:

- 1. LLS-I основан на введении фиктивной переменной.
- 2. LLS-II основан на вычитании эталонного измеренного диапазона.

Для дальнейшего повышения точности локализации можно использовать взвешенные алгоритмы LLS (WLLS).

Также с помощью метода наименьших квадратов на основе данных о местоположении целей в различные моменты времени можно построить модель для прогнозирования их будущих местоположений.

Проекция на выпуклые множества (POCS) — это один из методов позиционирования, который позволяет обеспечить начальную оценку для итеративных алгоритмов решения задачи позиционирования на основе ML или NLS для некооперативной сети.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Омега». Исходные данные: Исходные частоты РНТ: f_1 =10,2 к Γ ц, f_2 =11,33 к Γ ц, f_3 =13,6 к Γ ц; Высота D-слоя ионосферы: H_D =80 км; Толщина D-слоя ионосферы: ΔH_D =80 км; Расстояние до радионавигационной точки: r_{PHT} =10⁴ км; База: α =900 км; Радиус пространственной корреляции: R_k =2700; Время наблюдения T_H =500 мс; Полоса флуктуаций сигнала: Δf_c =20 Γ ц; Функционально необходимое число баз: N_{6a3} =2.

Правильный ответ:

 $\hat{\text{Н}}$ айдем приращение расстояния, пройденного пространственной волной (рис. 18.1) при отражении от D-слоя ионосферы:

(рис. 18.1) при отражении от
$$D$$
-слоя ионосферы:
$$r_{\scriptscriptstyle 0} - r_{\scriptscriptstyle \mathrm{PHT}} = \frac{2 \cdot H_{\scriptscriptstyle D}^{\ 2}}{r_{\scriptscriptstyle \mathrm{PHT}}} = \frac{2 \cdot 80^2}{10^4} = 1{,}28 \ \ \mathrm{KM} \ .$$

Диапазон блуждания пространственной волны равен

$$\Delta r = \frac{4 \cdot H_D}{r_{\text{PHT}}} \cdot \Delta H_D = \frac{4 \cdot 80 \cdot 30}{10^4} = 0,96 \text{ KM}.$$

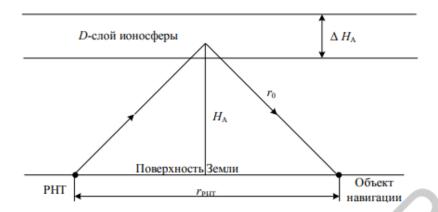


Рис. 18.1. Переотражение пространственной волны от D-слоя ионосферы

Диапазон блуждания разности расстояний равен

$$\Delta r_{1,2} = \Delta r_0 \cdot \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \alpha}{4R_k} = 960 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 3,14} \cdot 900 \cdot 10^3}{4 \cdot 2700 \cdot 10^3} = 200 \text{ m}.$$

Рассчитаем эквивалентную спектральную плотность возмущавшего воздействия:

$$S_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} = S'_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} + S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}}.$$

Тогда

$$S''_{3\text{KB}\Delta r_{1,2}} = \frac{(\Delta r_{1,2})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{(200)^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 22} = 145 \,\text{M}^2/\Gamma_{\text{II}},$$

где
$$R = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\Delta r_{1,2}}{\Delta r_{\text{одн}}}\right)^2 + 1} \approx 1;$$

$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\text{tr}}} + \Delta f_{\text{C}} = 2 + 20 = 22 \text{ Ги.}$$

Так как при использовании f_1 получим $\Delta r_{\rm одн}=15$ км, при использовании f_1 и f_3 получим $\Delta r_{\rm одн}=44$ км, а при f_1 и $f_2-\Delta r_{\rm одн}=132$ км.

Тогда флуктуационная ошибка измерения разности расстояний до двух опорных РНТ будет равна

$$\tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} = \sqrt{S''_{\text{экв}\Delta r_{1,2}}/T_{\text{н}}} = \sqrt{145/0,5} = 17 \text{ м.}$$

Флуктуационная ошибка измерения расстояния от объекта навигации до опорных РНТ равна

$$au_{\text{фл}r_{\text{PHT}}} = 2 \cdot \left(\frac{r_{\text{PHT}}}{\alpha}\right)^2 \cdot au_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} \sqrt{N_{\text{баз}}} = 2 \cdot \left(\frac{10^4}{900}\right)^2 \cdot 17 \cdot \sqrt{2} = 6 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_5

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. Loran-C и «Чайка». Однозначность определения дальности и точность измерения.

Правильный ответ:

Loran-C и «Чайка» — действующие наземные радионавигационные системы.

Однозначность определения дальности в этих системах обеспечивается синхронизированным излучением сигналов ведущей и ведомыми станциями с таким сдвигом по времени, чтобы в любой точке зоны действия системы обеспечивалось временное разделение сигналов.

Точность измерения зависит от режима работы. В стандартном разностно-дальномерном (гиперболическом) режиме есть ограничения по точности и размерам рабочей зоны, которые зависят от взаимного расположения передающих станций и потребителей. В зависимости от задач и требований потребителей используются и другие режимы, например, режим работы с функционально равноценными станциями, дальномерный, дифференциальный режимы.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Позиционирование в беспроводных сенсорных сетях. Особенности использования сверхширокополосных сигналов. Интерферометрия.

Правильный ответ:

Позиционирование беспроводных В сенсорных сетях определение местоположения узлов пространстве. Для сети позиционирования на территории стационарные размещают координаты которых известны. Опираясь на них, можно определять координаты мобильных узлов.

Особенности использования сверхширокополосных сигналов в беспроводных сенсорных сетях:

- позволяют создать устройства малых размеров и обеспечивают высокие коммуникационные характеристики в реальных каналах в условиях многолучевых искажений;
- в таких сетях узлы могут контактировать только с близлежащими соседями и, благодаря низкой мощности, избегать межузловой интерференции, которая существует в узкополосных системах.

Интерферометрия в радионавигации позволяет решать задачи трёхмерного картографирования и получения высокоточных топографических карт и цифровых моделей рельефа поверхности Земли, определить сдвиги и уклоны земной поверхности, то есть обнаружить изменения поверхности за время между сеансами наблюдения, провести мониторинг приграничных территорий, селектировать движущиеся цели.

Суть метода космической радиолокационной интерферометрии заключается в совместной обработке фазовых полей, полученных съёмкой одного и того же участка местности одновременно двумя антенными системами, либо одной антенной на двух витках орбиты.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Лоран-С». Исходные данные: Мощность излучения передатчика радионавигационной точки: P_0 =3 MBт; База: α =560 км; Расстояние до радионавигационной точки: r_{PHT} =2000 км; Ширина спектра сигнала: Δf_0 =1 кГц; Диапазон блуждания времени запаздывания поверхностной волны: Δt_{r0} =160 нс; Время наблюдения T_{H} =200 мс; Полоса флуктуаций сигнала: Δf_c =25 Гц; Функционально необходимое число баз: N_{6a3} =2.

Правильный ответ:

Диапазон блуждания расстояния, пройденного поверхностной волной из-за дисперсии скорости распространения электромагнитной волны в атмосфере равен

$$\Delta r = c \cdot \Delta t_{r_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 30 \text{ M}.$$

Для диапазона блуждания разности расстояний от объекта навигации до двух РНТ с учетом их некоррелированности при использовании поверхностной волны получаем

$$\Delta r_{1,2} = \sqrt{2} \cdot \Delta r_0 = 42 \,\mathrm{M}.$$

Разрешающая способность по разности расстояний равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{1000} = 3 \cdot 10^5 \,\mathrm{m}.$$

Рассчитаем эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия измерения разности хода. При этом эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов $S'_{\mbox{\tiny ЭКВ}\Delta r_{1,2}}$ приравняем к нулю, т. к. мощность излучения РНТ приводит к энергетической избыточности. Тогда

$$S_{\rm ЭКВ}\Delta r_{1,2} = S''_{\rm ЭКВ}\Delta r_{1,2} = \frac{(\Delta r_{1,2})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{\rm NC}} = \frac{42^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 30} = 4,68 \text{ M}^2 / \Gamma \text{Ц} ,$$
 где $R = \sqrt{2 \left(\frac{\Delta r_{1,2}}{\Delta r}\right)^2 + 1} \approx 1;$
$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\rm H}} + \Delta f_{\rm C} = 5 + 25 = 30 \text{ } \Gamma \text{Ц}.$$

Отсюда флуктационная ошибка измерения разности расстояний из-за «шумов дальности» равна

$$\tau_{\Phi \Lambda \Delta r_{1,2}} = \sqrt{S''_{3KB\Delta r_{1,2}}/T_{H}} = \sqrt{4,68/200 \cdot 10^{-3}} = 4,8 \text{ м.}$$

Ошибка измерения расстояния до опорной РНТ равна

$$\tau_{\text{фл/PTH}} = 2 \cdot \left(\frac{r_{\text{PTH}}}{\alpha}\right)^2 \cdot \tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} \cdot \sqrt{N_{\text{баз}}} = 2 \cdot \left(\frac{2000}{560}\right)^2 \cdot 4.8 \cdot \sqrt{2} = 173 \text{ м} \; .$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_6

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. Отведа и РСДН-20. Принцип действия и структура сигналов.

Правильный ответ:

Отведа — фазовая радионавигационная система (РСДН), основу которой составляют восемь независимых опорных станций, расположенных так, чтобы получить глобальную зону действия, то есть перекрыть всю поверхность земного шара. Для разделения сигналов опорных станций используется частотно-временной принцип. Навигационный параметр определяется по фазовому сдвигу принимаемых сигналов. Рабочие частоты опорных станций — от 10 до 14 кГц.

РСДН-20 — советская система дальней радионавигации. Предназначена для определения координат самолётов, кораблей и подводных лодок (в подводном положении). Система состоит из четырёх передатчиков, которые расположены в районе Мурманска, Новосибирска, Краснодара, Комсомольска-на-Амуре. Эти передатчики излучают последовательности сигналов длительностью 3,6 с на частотах 11,905 кГц, 12,649 кГц и 14,881 кГц. Приёмник измеряет разность фаз сигналов от навигационных передатчиков и строит семейство гипербол.

Структура сигналов:

• Omega: излучают определённой наземные станции последовательности сигналы на трёх частотах: 10,2 кГц, 13,6 кГц и 11,33 кГц. На частоте 10,2 кГц производится измерение разности фаз сигналов, принимаемых ОТ станций, то точное измерение навигационного параметра. Излучение на частотах 13,6 кГц и 11,33 кГц используется для создания масштабной сетки частот с целью устранения многозначности измерений.

• РСДН-20: передатчики излучают последовательности сигналов длительностью 3,6 с на частотах 11,905 кГц, 12,649 кГц и 14,881 кГц. Точные фазовые измерения выполняются на частоте 11,905 кГц.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Позиционирование при наличии ошибок распространения сигнала. Метод отслеживания движения.

Правильный ответ:

Позиционирование при наличии ошибок распространения сигнала — это процесс определения местоположения объекта в условиях, когда любой радиосигнал содержит случайные ошибки, которые невозможно полностью компенсировать.

Например, в городе условия распространения сигнала имеют сложный характер, и сигнал, излучённый передатчиком, вследствие переотражений от препятствий, может приходить на приёмник с совершенно иных, по сравнению с истинным, направлений.

Один из методов отслеживания движения в радионавигации определение параметров движения по доплеровскому сдвигу частоты сигнала. Например, при движении по орбите спутник излучает сигнал определённой частоты. Пользователь измеряет частоту пришедшего к нему сигнала, сравнивает её с эталонной и таким образом вычисляет доплеровский обусловленный частоты, движением спутника. производятся непрерывно, что позволяет составить функцию изменения частоты Доплера. В определённый момент времени частота становится равной нулю, а затем меняет знак. В этот момент потребитель находится на линии, которая является нормалью к вектору движения спутника. Используя зависимость крутизны кривой доплеровской частоты от расстояния между потребителем и ИСЗ, и, измерив момент времени, когда частота Доплера равна нулю, можно вычислить координаты потребителя.

Также в радионавигации используется способ счисления пути, который основан на непрерывном вычислении координат местоположения объекта путём автоматического решения уравнений его движения. Текущие координаты объекта определяются по начальным координатам и пройденному пути, найденному интегрированием путевой скорости.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Лоран-А». Исходные данные: Диапазон блуждания времени запаздывания поверхностной волны: Δt_{r0} =160 мкс; База: α =1000 км; Расстояние до радионавигационной точки: r_{PHT} =1500 км; Радиус пространственной корреляции: R_k =2700 км; Мощность излучения передатчика радионавигационной точки: P_0 =100 КВт; Время наблюдения

 $T_{\rm H}$ =500 мс; Полоса флуктуаций сигнала: $\Delta f_{\rm c}$ =20 Гц; Длительность сигнала: T_0 =200 мс; Рабочая частота: f_0 =2 мГц.

Правильный ответ:

Разрешающая способность по разности расстояний равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^4 \text{ M}.$$

Диапазон блуждания разности расстояний от объекта навигации до двух опорных РНТ:

$$\Delta r_{1,2} = \Delta r_0 \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \alpha}{4R_k} = 48 \cdot \frac{2,5 \cdot 1000}{4 \cdot 2700} = 11,1$$
 km,

где $\Delta r_0 -$ диапазон блуждания пространственной волны $\left(\Delta r_0 = c \cdot \Delta t_{r_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 160 \cdot 10^{-6} = 48 \,\mathrm{km}\right)$.

Эквивалентная спектральная мощность возмущающего воздействия равна

$$S_{\text{ЭКВ}\Delta r_{12}} = S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} = \frac{(\Delta r_{1,2})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{\left(11,1 \cdot 10^3\right)^2 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 22} = 4,5 \cdot 10^5 \,\text{м}^2/\Gamma_{\text{I}\text{I}} \; ,$$
 где $R = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\Delta r_{1,2}}{\Delta r}\right)^2 + 1} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{11,1}{60}\right)^2 + 1} \approx 1;$
$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T} + \Delta f_{\text{C}} = 2 + 20 = 22 \, \Gamma_{\text{II}}.$$

Флуктуационная ошибка измерения разности расстояний из-за «шумов дальности» равна

$$au_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} = S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} \cdot \frac{1}{T_{\text{H}}} = 4,5 \cdot 10^5 \, / \, 0,5 = 950 \, \text{м}.$$

Тогда флуктуационная ошибка определения местонахождения объекта навигации равна

$$au_{\mbox{фл}r} = 2 \!\! \left(rac{r_{\mbox{PTH}}}{lpha}
ight)^{\!\! 2} au_{\mbox{фл}\Delta r_{1,2}} = 2 \cdot \! \left(rac{1500}{1000}
ight)^{\!\! 2} \cdot 0,\!95 = 4,\!3 \ \mbox{км}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайки
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_7

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. Отведа и РСДН-20. Однозначность определения дальности и точность измерения.

Правильный ответ:

Omega — пассивная фазовая дальномерная радионавигационная система, работающая в диапазоне сверхдлинных волн. Позволяет получить практически глобальную зону действия, в пределах которой точность определения местоположения потребителя на поверхности Земли составляет несколько километров.

РСДН-20 советская система дальней радионавигации, предназначенная для определения координат самолётов, кораблей и подводных лодок (в подводном положении). Дальность действия — 10 тыс. км от ведущей станции. Точность местоопределения — 2,5–7 км. К 1999 году модернизирована точности местоопределения 70% система ДО на поверхности Земли не хуже 1,2–1,5 км.

Однозначность определения дальности и точность измерения в системах Omega и РСДН-20 отличаются:

- Omega. Навигационный параметр определяется по фазовому сдвигу принимаемых сигналов. Избыточность системы снижает чувствительность к отказам одной или двух опорных станций. Ширина дорожек точного определения линий положения в системе Omega обуславливает ширину фазовых дорожек, которые устраняют первую и вторую степени многозначности определения местоположения ЛА.
- РСДН-20. Приёмник измеряет разность фаз сигналов от навигационных передатчиков и строит семейство гипербол. Подвижный объект всегда может определить своё местоположение, если не теряет способность слежения за сигналами навигационных передатчиков. Точность определения

местоположения — не хуже 2 морских миль, однако на высоких широтах и в полярных районах, где могут возникать внезапные фазовые аномалии, точность снижается до 7 морских миль.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы позиционирования в сотовых сетях.

Правильный ответ:

Методы позиционирования в сотовых сетях:

- Cell ID. Используется уникальный идентификатор соты и географические координаты базовой станции. Местоположение абонентского терминала определяется с точностью до зоны обслуживания базовой станции, в которой терминал зарегистрирован.
- Cell ID-TA (timing advance). К параметру о сегменте базовой станции добавляется параметр TA (time advance), по которому грубо можно оценить расстояние абонентского устройства от базовой станции.
- E-OTD (enchanced observed time difference). Измеряется время прохождения сигнала от базовой станции до двух точек абонентского терминала и LMU (модуля управления местоположением), координаты которого известны с высокой точностью. В синхронной системе можно вычислить смещение во времени между сигналами, что позволяет определить координаты.
- UL-TOA или TOA (UpLink time of arrival). Основана на измерении и сравнении временных интервалов прохождения сигнала с мобильного телефона абонента на несколько базовых станций. Иногда этот метод называют методом триангуляции.
- Определение местоположения абонента на основе анализа уровня сигнала с его мобильного телефона на ближайших базовых станциях.
- A-GPS (Assisted GPS). Требует наличия в телефоне GPS-приёмника. Сеть в этом случае выступает транспортом для передачи в телефон дополнительных данных для расчёта координат.
- Гибридный метод. Основан на сочетании различных технологий позиционирования.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик доплеровских РНС. Исходные данные: Значение доплеровских частот в лучах: F_{gk} =17 к Γ ц, F_{gl} =9,9 к Γ ц, F_{gm} =-25,6 к Γ ц, F_{gn} =-18,5 к Γ ц; Азимут луча визирования: θ =45 0 ; Угол места луча визирования: γ_{α} =60 0 ; Рабочая длина волны передатчика: λ =2 см; Раскрыв бортовой антенны: La=1 м; Время наблюдения для единичного отсчета: Тн=200 м; Полоса пропускания доплеровских фильтров: Δf_{ϕ} =1 к Γ ц.

Рассчитаем продольную составляющую вектора скорости:

$$W_{_{X}} = \frac{\lambda \left[\left(F_{gk} - F_{gm} \right) + \left(F_{gl} - F_{gn} \right) \right]}{8 \cdot \cos \gamma_{\alpha} \cdot \cos \theta} = \frac{0.02 \left[\left(17 + 25.6 \right) + \left(9.9 + 18.5 \right) \right] \cdot 10^{3}}{8 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = 502 \quad \text{m/c} \; .$$

Для поперечной составляющей получим

$$W_{Z} = \frac{\lambda \left[\left(F_{gl} - F_{gn} \right) - \left(F_{gk} - F_{gm} \right) \right]}{8 \cdot \cos \gamma_{\alpha} \cdot \sin \theta} = \frac{0.02 \left[\left(9.9 + 18.5 \right) - \left(17 + 25.6 \right) \right] \cdot 10^{3}}{8 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = -92 \quad \text{m/c} \ .$$

Вертикальная составляющая вектора скорости равна

$$W_{y} = -\frac{\lambda \left[\left(F_{gk} + F_{gm} \right) \right]}{4 \cdot \sin \gamma_{\alpha}} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \left(17 - 25, 6 \right) \cdot 10^{3}}{4 \cdot 0,866} = 49,6 \text{ m/c}.$$

Рассчитаем угол сноса:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{W_Z}{W_X} = -\frac{92}{502} = -0.18, \ \alpha = -10.4 \text{ град}.$$

Путевая скорость равна

$$W_n = \frac{W_x}{\cos \alpha} = \frac{502}{0.98} = 512 \text{ m/c}$$
.

Найдем ширину спектра флуктуаций отражений от «набегающей» поверхности:

$$\Delta F_{gk,l,m,n} = \frac{\sqrt{2W_n}}{\lambda} \cdot \sin\eta_{k,l,m,n} \cdot \Delta\eta,$$

где $\eta_{k,l,m,n} = 60...120$ град,

Примем $\eta_{k,l,m,n}$ ≈ 90 град.

Тогда

$$\Delta F_{gc} = \frac{\sqrt{2}W_n}{\lambda} \cdot \Delta \eta = \frac{\sqrt{2}W_n}{\lambda} \cdot \frac{\lambda_n}{L_a} \approx \frac{\sqrt{2} \cdot 512}{0.02} \cdot \frac{0.02}{1} = 724 \text{ Fig.}$$

Определим эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия измерителей доплеровских частот:

$$S_{9\text{KB}F_g}' = \frac{\left(\Delta F_g\right)^2 \cdot \left(1+\rho\right)}{4\pi \cdot \rho^2 \cdot \Delta F_{\text{II}}} \rightarrow 0$$
, T. K. $\rho \rightarrow \infty$,

где ρ – отношение сигнал/шум, а $\Delta F_{II} = \frac{1}{T_{II}} + \Delta f_{\Phi} \approx \Delta f_{\Phi} = 1 \ \kappa \Gamma$ ц.

Тогда

$$S''_{3\text{KB}}F_{g} = \frac{\left(\Delta F_{gc}\right)^{2}R^{2}}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}},$$

$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{H}} + \Delta F_{gc} = 5 + 724 \approx 730 \text{ FH},$$

$$R = \sqrt{2\left(\frac{\Delta F_{gc}}{\Delta F_{g}}\right)^{2} + 1} = \sqrt{2\left(\frac{724}{1000}\right)^{2} + 1} = 1,4.$$

3десь $\Delta F_g = \Delta f_{\dot{\Phi}}$.

Тогда

$$S''_{_{\text{ЭКВ}}F_g} = \frac{724^2 \cdot 1, 4^2}{4 \cdot 3, 14 \cdot 730} = 112 \text{ град}^2/\Gamma_{\text{Ц}}$$
.

В результате

$$S_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = S'_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} + S''_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = S''_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = 112 \mathrm{град}^2/\Gamma$$
ц.

Таким образом, флуктуационная ошибка разовых измерений доплеровских частот в лучах равна

Зависимость дисперсии ошибок вычисления скорости от дисперсии погрешностей измерения F_g определяется соотношением

$$\tau_{\phi\pi W_{T_{_{\mathbf{H}}}}}^{2} = \tau_{\phi\pi F_{g}}^{2} \left(\frac{\lambda_{_{0}}}{2\cos\eta_{_{0}}}\right)^{2},$$

где $\eta_0 = 90^{\circ}$.

Отсюда флуктуационная ошибка разовых измерений радиальных скоростей «набегающей» поверхности в лучах будет равна

$$\tau_{\Phi^{\Pi}W\tau_{T_{H}}} = \frac{\lambda}{2}\tau_{\Phi^{\Pi}F_{g}} = \frac{0.02}{2}\cdot23.7 = 23.7\cdot10^{-2} \text{ M/c}.$$

Находим флуктуационные ошибки измерений продольной и поперечной составляющей вектора скорости:

$$\tau_{\phi\pi W_x} = \frac{\lambda \cdot \tau_{\phi\pi Fg}}{4 \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma_{\alpha}} = \frac{0.02 \cdot 23.7}{4 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = 0.34 \text{ m/c},$$

$$\tau_{\phi\pi W_z} = \frac{\lambda \cdot \tau_{\phi\pi g}}{4 \cdot \sin\theta \cdot \cos\gamma_{\alpha}} = 0.34 \text{ m/c}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_8

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. РСБН и VOR/DME. Принцип действия и структура сигналов.

Правильный ответ:

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) предназначена для обеспечения самолётовождения, захода на посадку в сложных метеоусловиях, контроля и управления движением самолётов с земли. В состав наземного оборудования входят азимутально-дальномерный радиомаяк, обеспечивающий навигацию воздушного судна на маршруте, а также курсовой и глиссадный радиомаяки, составляющие посадочную радиомаячную группу и обеспечивающие заход на посадку и посадку самолётов.

VOR/DME — комплексная радионавигационная система аэронавигационного оборудования для летательного аппарата, включающая в себя всенаправленный азимутальный радиомаяк (VOR) и всенаправленный дальномерный радиомаяк (DME). Система принята по рекомендации ИКАО в качестве основной стандартной навигационной системы для обеспечения безопасности полётов ВС в районах и на маршрутах с высокой интенсивностью движения.

Принцип действия:

1. Канал измерения азимута. Радиомаяк излучает постоянный направленный сигнал от вращающейся антенны. Вращающаяся антенна имеет узкую двухлучевую диаграмму направленности, два луча которой плотно прилегают друг к другу. Направление азимута фиксируется по «провалу» между этими лучами, который имеет гораздо меньшую ширину в сравнении с самими лучами. Тем самым достигается высокая точность азимутального канала.

2. Канал измерения дальности. Бортовое оборудование воздушного судна посылает запрос, от наземного оборудования получает ответ, по величине задержки ответа относительно запроса определяется дальность.

Система VOR/DME — международная радионавигационная система ближней навигации, принятая по рекомендации ИКАО в качестве основной стандартной навигационной системы для обеспечения безопасности полётов ВС в районах и на маршрутах с высокой интенсивностью движения. Принцип действия: система использует фазовый метод при определении азимута (канал VOR) и временной метод при определении дальности (канал дальности).

Структура сигналов в системах РСБН и VOR/DME имеет свои особенности:

- 1. РСБН. Передача информации может осуществляться на разных несущих частотах с непрерывным излучением азимутального сигнала (всенаправленные радиомаяки типа РСБН-2H, РСБН-4H, РСБН-6H) или на одной несущей частоте с импульсным излучением азимутального сигнала (направленные радиомаяки типа ПОЛЕ-H, УДАРМ и др.).
- 2. VOR/DME. Маяк VOR излучает два сигнала ненаправленный опорный и узконаправленный азимутальный. Азимутальный сигнал вращается в горизонтальной плоскости по часовой стрелке с частотой 30 Гц, опорный сигнал излучается в момент, когда азимутальный сигнал направлен на север. По сдвигу фаз этих двух сигналов бортовой приёмник может определить, на каком азимуте от маяка находится ЛА. Маяк DME приёмопередатчик. Бортовое оборудование излучает запрос, который принимается маяком и отправляется обратно, по задержке приёма сигнала вычисляется расстояние до маяка (наклонная дальность, по гипотенузе).

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Источники ошибок при позиционировании. Распространение вне зоны прямой видимости и погрешности при цифровом моделировании радиополя.

Правильный ответ:

К основным источникам ошибок при позиционировании относятся:

- 1. Неточность эфемерид спутников.
- 2. Ионосферные ошибки. Возникают из-за влияния плазменного состояния атмосферы на сигналы GPS.
- 3. Тропосферные ошибки. Связаны с изменением атмосферы ниже уровня ионосферы тропосферы.
- 4. Ошибки многолучевости. Возникают из-за отражений сигнала от поверхности земли или объектов в пределах видимости.
- 5. Ошибки часов приёмника. Связаны с временными огрехами в работе GPS-ориентированных устройств.

Распространение радиоволн вне зоны прямой видимости происходит благодаря нескольким явлениям:

- Дифракция радиоволн. При встрече с препятствиями радиоволны огибают их и проникают в область тени, отклоняясь от прямолинейного пути. Когда передающая и приёмная антенны разделены выпуклостью земного шара, дифракция радиоволн является одной из причин приёма сигналов за пределами прямой видимости.
- Нормальная тропосферная рефракция (преломление). Показатель преломления зависит от давления и температуры воздуха, которые убывают с высотой. Это приводит к увеличению максимальной дальности возможного уверенного приёма по сравнению с максимальной дальностью, ограниченной условиями прямой видимости.
- Рассеяние радиоволн. Происходит различными наземными металлическими предметами в виде железобетонных масс зданий, мостов, мачт, а также неоднородностями в верхних слоях атмосферы. В результате рассеяния возникают вторичные излучения сигнала, которые значительно слабее по мощности основного.

Погрешности при цифровом моделировании радиополя — это ошибки, которые возникают из-за неточности измерений и неопределённости значений параметров, используемых в модели.

Источники погрешностей при цифровом моделировании радиополя:

- Погрешность представления аналоговых сигналов. Она связана с квантованием значений и определяется разрядностью чисел в вычислительной машине.
- Погрешность измерений. Значения параметров, используемые в модели, измеряются с некоторой погрешностью, что приводит к неопределённости аргументов измеряемых зависимостей.
- Погрешности в результатах измерений на реальной системе. Они приводят к неопределённостям значений измеряемых зависимостей.

Для учёта погрешностей при оценке адекватности модели необходимо использовать методы математической статистики.

Также на результаты расчёта могут влиять погрешности определения абсолютных высот мест размещения радиоэлектронных средств с использованием цифровой матрицы рельефа (ЦМР).

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик курсовой и глиссандой радиомаячных систем. Исходные данные: Диапазон частот: 108,1...111,9 МГц. Ширина диаграмм направленности антенн КРМ и ГРП: $\Delta\theta$ = 20° ; Отношение сигнал/шум КРП/ГРП: ρ =1000; Диапазон блуждания энергетического центра КРМ и ГРМ из-за интерференционных явлений при распространении радиоволн: $\Delta\theta$ = $1,7^{\circ}$; Полоса флуктуаций сигнала: Δ fc=20 Гц; Время обращения к приводным КРМ и ГРМ: $T_{\rm H}$ =200 мс; Полоса пропускания радиосигнала КРП и ГРП: Δ F φ =1 к Γ ц; Расстояние до ВПП: $R_{\rm BПП}$ =1 км.

Правильный ответ:

Рассчитаем эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов КРП и ГРП:

$$S'_{_{_{_{_{_{_{_{_{_{_{}}}}}}}}}}=\frac{(\Delta\theta)^2(1+\rho)}{4\pi\rho^2\cdot\Delta F_{_{_{_{_{_{_{_{_{_{_{_{}}}}}}}}}}}=\frac{20^2}{4\cdot3,14\cdot10^3\cdot10^3}\approx0,318\cdot10^{-4}\mathrm{град}^2/\Gamma_{\mathrm{II}}\ ,$$

где
$$\Delta F_{\text{II}} = \frac{1}{T_{\text{H}}} + \Delta F_{\Phi} \approx 1 \text{ к}\Gamma\text{ц}.$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за блужданий энергетического центра излучений КРМ и ГРМ равна

$$S''_{\text{экв}\theta} = \frac{\left(\Delta\theta_0\right)^2 R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{1.7^2}{4 \cdot 3.14 \cdot 25} = 0.93 \cdot 10^{-2} \,\text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}}$$
.

Тогда

$$S_{_{_{_{ЭКВ}\theta}}} = S'_{_{_{_{_{ЭКВ}\theta}}}} + S''_{_{_{_{_{ЭКВ}\theta}}}} \approx S''_{_{_{_{_{ЭКВ}\theta}}}} = 0,93 \cdot 10^{-2}$$
град 2 /Гц

Отсюда ошибки разовых измерений:

$$S_{
m экв heta} = S'_{
m экв heta} + S''_{
m экв heta} pprox S''_{
m экв heta} = 0,93 \cdot 10^{-2} \
m град^2/\Gamma ц \, .$$
ибки разовых измерений:
$$au_{
m фл heta}^2 = \frac{S_{
m экв heta}}{T_{
m H}} = \frac{0,93 \cdot 10^{-2}}{0,02} pprox 0,05 \
m град^2 \, .$$

Следовательно, $\tau_{\text{фл}\theta}^2 = 0,216 \text{ град}^2$, а линейное отклонение от линии курса (глиссады) на расстоянии 1 км от ВПП равно

$$\Delta l = \tau_{\phi \pi \theta} \cdot R_{\text{BIII}} = \frac{0.216 \cdot 10^3}{57.3} = 3.8 \text{ M}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. РСБН и VOR/DME. Принцип действия и структура сигналов.

Правильный ответ:

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) предназначена для обеспечения самолётовождения, захода на посадку в сложных метеоусловиях, контроля и управления движением самолётов с земли. В состав наземного оборудования входят азимутально-дальномерный радиомаяк, обеспечивающий навигацию воздушного судна на маршруте, а также курсовой и глиссадный радиомаяки, составляющие посадочную радиомаячную группу и обеспечивающие заход на посадку и посадку самолётов.

VOR/DME — комплексная радионавигационная система аэронавигационного оборудования для летательного аппарата, включающая в себя всенаправленный азимутальный радиомаяк (VOR) и всенаправленный дальномерный радиомаяк (DME). Система принята по рекомендации ИКАО в качестве основной стандартной навигационной системы для обеспечения безопасности полётов ВС в районах и на маршрутах с высокой интенсивностью движения.

Принцип действия:

Канал измерения азимута. Радиомаяк излучает постоянный направленный сигнал от вращающейся антенны. Вращающаяся антенна имеет узкую двухлучевую диаграмму направленности, два луча которой плотно прилегают друг к другу. Направление азимута фиксируется по «провалу» между этими лучами, который имеет гораздо меньшую ширину в сравнении с самими лучами. Тем самым достигается высокая точность азимутального канала.

Канал измерения дальности. Бортовое оборудование воздушного судна посылает запрос, от наземного оборудования получает ответ, по величине задержки ответа относительно запроса определяется дальность.

Система VOR/DME — международная радионавигационная система ближней навигации, принятая по рекомендации ИКАО в качестве основной стандартной навигационной системы для обеспечения безопасности полётов ВС в районах и на маршрутах с высокой интенсивностью движения. Принцип действия: система использует фазовый метод при определении азимута (канал VOR) и временной метод при определении дальности (канал дальности).

Структура сигналов в системах РСБН и VOR/DME имеет свои особенности:

РСБН. Передача информации может осуществляться на разных несущих частотах с непрерывным излучением азимутального сигнала (всенаправленные радиомаяки типа РСБН-2H, РСБН-4H, РСБН-6H) или на одной несущей частоте с импульсным излучением азимутального сигнала (направленные радиомаяки типа ПОЛЕ-H, УДАРМ и др.).

VOR/DME. Маяк VOR излучает два сигнала — ненаправленный опорный и узконаправленный азимутальный. Азимутальный сигнал вращается в горизонтальной плоскости по часовой стрелке с частотой 30 Гц, опорный сигнал излучается в момент, когда азимутальный сигнал направлен на север. По сдвигу фаз этих двух сигналов бортовой приёмник может определить, на каком азимуте от маяка находится ЛА. Маяк DME — приёмопередатчик. Бортовое оборудование излучает запрос, который принимается маяком и отправляется обратно, по задержке приёма сигнала вычисляется расстояние до маяка (наклонная дальность, по гипотенузе).

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Источники ошибок при позиционировании. Многолучевое распространение и дрейф часов.

Правильный ответ:

К основным источникам ошибок при позиционировании относятся:

- 1. Неточность эфемерид спутников.
- 2. Ионосферные ошибки. Возникают из-за влияния плазменного состояния атмосферы на сигналы GPS.
- 3. Тропосферные ошибки. Связаны с изменением атмосферы ниже уровня ионосферы тропосферы.
- 4. Ошибки многолучевости. Возникают из-за отражений сигнала от поверхности земли или объектов в пределах видимости.
- 5. Ошибки часов приёмника. Связаны с временными огрехами в работе GPS-ориентированных устройств.

Многолучевое распространение — это эффект, наблюдаемый при распространении сигналов. Возникает, когда сигнал отражается от зданий, гор или других объектов, прежде чем достигает приёмника. Это может привести к тому, что сигнал прибудет к приёмнику в несколько разное время, что приведёт к ошибке синхронизации. Для уменьшения ошибок

многолучевости приёмники используют передовые методы обработки сигналов, такие как фильтрация, корреляция и отслеживание фазы.

Дрейф часов происходит, когда атомные часы спутника не совсем точны, что также может привести к ошибкам синхронизации. Чтобы уменьшить ошибки смещения часов, системы GNSS используют несколько спутников и передовые алгоритмы для определения наиболее точных часов.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик автоматического радиокомплекса. Исходные данные: Диапазон частот - декаметровый: 150...1799,5 КГц. Ширина диаграммы направленности рамочной антенны: $\Delta \theta = \int_{\sin \theta}^{\sin \theta} \alpha_0 = \pi$ (180°). Площадь поперечного сечения рамочной антенны: Spa=0,7 M^2 ; Коэффициент усиления слабонаправленной антенны приводной радиостанции: G_0 =4; Дальность до приводной радиостанции: r_0 =300 км; Мощность приводной радиостанции: P_0 =0,8 Вт; Диапазон блуждания энергетического центра излучения приводной электростанции из-за «углового шума» тропосферного распространения радиоволн: $\Delta \theta = 5^0$; Время обращения к приводной радиостанции: $T_{\rm H}$ =200 мс; Шумовая температура: T(K)=300 К; Полоса флуктуаций сигнала: Δf c=20 Γ ц;

Правильный ответ:

Рассчитаем мощность принимаемого сигнала f от приводной радиостанции:

$$P_{\rm c} = \frac{P_0 \cdot G_0 \cdot S_{\rm pa}}{4\pi r_0^2} = \frac{0.8 \cdot 4 \cdot 0.7}{4 \cdot 3.14 \cdot (3 \cdot 10^5)^2} \approx 2 \cdot 10^{-12} \,\mathrm{Br}.$$

Спектральная плотность внутренних шумов приемника АРК будет равна $N_0 = k \cdot T(°K) \cdot K_{\rm m} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 300 = 1{,}24 \cdot 10^{-18}\,{\rm Br/\Gamma u}\,,$

где k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Тогда отношение сигнал/шум будет соответствовать следующей величине:

$$\rho = P_{\rm c} \cdot \frac{T_{\rm M}}{N_{\rm o}} = \frac{2 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{1.24 \cdot 10^{-18}} = 645,$$

где
$$T_{\rm H} = \frac{1}{\Delta F_{\rm th}} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-4} \, \text{c}.$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов равна

$$S'_{\mathsf{ЭКВ}\theta} = \frac{(\Delta\theta_{\mathsf{pa}})^2(1+\rho)}{4\pi\cdot\rho^2\cdot\Delta F_{\scriptscriptstyle ||}} = \frac{180^2\cdot(1+645)}{4\cdot3,14\cdot645^2\cdot2,5\cdot10^3} = 1,6\cdot10^{-3} \ \text{град}^2/\Gamma_{\rm II},$$
 где $F_{\scriptscriptstyle ||} = \Delta F_{\rm th} = 2,5\cdot10^3 \ \Gamma_{\rm II}.$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за «угловых шумов» равна

$$S''_{\text{ЭКВ}\theta} = \frac{(\Delta\theta_0)^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{5^2 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 25} = 8 \cdot 10^{-2} \, \text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}},$$
 где $R = \sqrt{2(\frac{\Delta\theta_0}{\Delta\theta_{\text{pa}}}) + 1} \approx 1$, а $\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\text{H}}} + \Delta f_{\text{C}} = \frac{1}{0,2} + 20 = 25 \, \Gamma_{\text{Ц}}.$

Таким образом, ошибка разовых измерений навигационного параметра для АРК равна

$$\tau_{\Phi^{\Pi}\theta}^{2} = \frac{S_{9KB}}{T_{H}} = \frac{S_{9KB}^{\prime} + S_{9KB}^{\prime\prime}}{T_{H}} = \frac{8,16 \cdot 10^{-2}}{200 \cdot 10^{-3}} = 0,408 \text{ град}^{2}.$$

$$= 0.64^{\circ}$$

Отсюда $\tau_{\phi n\theta} = 0,64^{\circ}$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайки
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_10

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла: Действующие наземные радионавигационные системы. РСБН и VOR/DME. Канал дальности и канал азимута.

Правильный ответ:

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) предназначена для обеспечения самолётовождения, захода на посадку в сложных метеоусловиях, контроля и управления движением самолётов с земли. В состав наземного оборудования входят азимутально-дальномерный радиомаяк, обеспечивающий навигацию воздушного судна на маршруте, а также курсовой и глиссадный радиомаяки, составляющие посадочную радиомаячную группу и обеспечивающие заход на посадку и посадку самолётов.

VOR/DME — комплексная радионавигационная система аэронавигационного оборудования для летательного аппарата, включающая в себя всенаправленный азимутальный радиомаяк (VOR) и всенаправленный дальномерный радиомаяк (DME). Система принята по рекомендации ИКАО в качестве основной стандартной навигационной системы для обеспечения безопасности полётов ВС в районах и на маршрутах с высокой интенсивностью движения.

Радиотехническая система ближней навигации (РСБН) и система VOR/DME имеют свои особенности измерения азимута и дальности:

Канал измерения азимута в РСБН. Радиомаяк излучает постоянный направленный сигнал от вращающейся антенны. Направление азимута фиксируется по «провалу» между двумя плотно прилегающими друг к другу лучами. Зная постоянную скорость вращения направленной антенны и время между направленным и всенаправленным сигналами, можно вычислить текущий азимут воздушного судна относительно наземного радиомаяка РСБН.

Канал измерения дальности в РСБН. Бортовое оборудование воздушного судна посылает запрос, от наземного оборудования получает ответ, по величине задержки ответа относительно запроса определяется дальность.

В системе VOR/DME канал измерения азимута работает так: маяк VOR излучает два сигнала — ненаправленный опорный и узконаправленный азимутальный. Азимутальный сигнал вращается в горизонтальной плоскости по часовой стрелке с частотой 30 Гц, опорный сигнал излучается в момент, когда азимутальный сигнал направлен на север. По сдвигу фаз этих двух сигналов бортовой приёмник может определить, на каком азимуте от маяка находится летательный аппарат.

Канал измерения дальности в системе VOR/DME работает так: маяк DME — приёмопередатчик. Бортовое оборудование излучает запрос, который принимается маяком и отправляется обратно, по задержке приёма сигнала вычисляется расстояние до маяка (наклонная дальность, по гипотенузе).

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Метод цифрового моделирования радиополя. Основные способы.

Правильный ответ:

Метод цифрового моделирования радиополя позволяет более точно прогнозировать распределение радиополя в зоне обслуживания радиоэлектронных систем.

Основные способы цифрового моделирования радиополя:

- Моделирование рассеяния электромагнитных волн на статистически неровной поверхности. Заключается в моделировании трёхмерной области с заданными характеристиками распределением шероховатостей, диэлектрической проницаемостью, проводимостью. Исследуемая часть поверхности облучается источником радиополя, параметрами которого являются диаграмма направленности, частота и мощность излучения. Распределение радиополя определяется на основе метода конечных элементов, что позволяет учесть эффект рассеяния на всех неровностях исследуемого участка поверхности.
- Метод Монте-Карло. Позволяет более точно отследить случайный характер рассеянного поля.
- Моделирование отражений от растительных покровов. Для решения этой задачи используются методы корреляционного анализа и феноменологические модели.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик автоматического радиокомплекса. Исходные данные: Диапазон частот - декаметровый: 150...1799,5 КГц. Ширина диаграммы направленности рамочной антенны: $\Delta\theta = \int_{0}^{\sin\theta} \alpha_{\theta} = \pi$ (180°).

Площадь поперечного сечения рамочной антенны: Spa=0,7 м²; Коэффициент усиления слабонаправленной антенны приводной радиостанции: $G_0=4$; Дальность до приводной радиостанции: r₀=300 км; Мощность приводной радиостанции: Р₀=0,8 Вт; Диапазон блуждания энергетического центра излучения приводной электростанции из-за «углового шума» тропосферного распространения радиоволн: $\Delta\theta = 5^{\circ}$; Время обращения к приводной радиостанции: $T_H=200$ мс; Шумовая температура: T(K)=300 K; Полоса флуктуаций сигнала: ∆fc=20 Гц;

Правильный ответ:

Рассчитаем мощность принимаемого сигнала f от радиостанции:

$$P_{\rm c} = \frac{P_0 \cdot G_0 \cdot S_{\rm pa}}{4\pi r_0^2} = \frac{0.8 \cdot 4 \cdot 0.7}{4 \cdot 3.14 \cdot (3 \cdot 10^5)^2} \approx 2 \cdot 10^{-12} \,\text{Br}.$$

Спектральная плотность внутренних шумов приемника АРК будет равна $N_0 = k \cdot T({}^{\circ}K) \cdot K_{\text{III}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 300 = 1,24 \cdot 10^{-18} \,\text{Be}/\Gamma_{\text{II}},$

где k – постоянная Больцмана, равная $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Тогда отношение сигнал/шум будет соответствовать следующей величине:

$$\rho = P_{\rm c} \cdot \frac{T_{\rm M}}{N_0} = \frac{2 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{1.24 \cdot 10^{-18}} = 645,$$

где
$$T_{\rm H} = \frac{1}{\Delta F_{\rm th}} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-4} \, \text{c}.$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов равна

$$S'_{\text{ЭКВ}\theta} = \frac{(\Delta\theta_{\text{pa}})^2(1+\rho)}{4\pi \cdot \rho^2 \cdot \Delta F_{\text{II}}} = \frac{180^2 \cdot (1+645)}{4 \cdot 3,14 \cdot 645^2 \cdot 2,5 \cdot 10^3} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^2/\Gamma_{\text{II}},$$

где
$$F_{\text{II}} = \Delta F_{\dot{\Phi}} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Гц.}$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за «угловых шумов» равна

$$S''_{\text{экв}\theta} = \frac{(\Delta\theta_0)^2 R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{5^2 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 25} = 8 \cdot 10^{-2} \text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}}$$

$$S''_{\text{ЭКВ}\theta} = \frac{(\Delta\theta_0)^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{5^2 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 25} = 8 \cdot 10^{-2} \, \text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}},$$
 где $R = \sqrt{2(\frac{\Delta\theta_0}{\Delta\theta_{\text{pa}}}) + 1} \approx 1$, а $\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\text{H}}} + \Delta f_{\text{C}} = \frac{1}{0,2} + 20 = 25 \, \Gamma_{\text{Ц}}.$

Таким образом, ошибка разовых измерений навигационного параметра для АРК равна

Критерии итоговой оценки за экзамен: «отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2. Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _______ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС ______ С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_11

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Радиомаячные системы посадки. Состав, принцип работы, достоинства и недостатки.

Правильный ответ:

Радиомаячная система посадки (РМС) — это комплексная система, состоящая из наземных и бортовых устройств, обеспечивающих пилота информацией, необходимой для управления воздушным судном в процессе захода на посадку.

Состав радиомаячных систем посадки: курсовой радиомаяк (КРМ), глиссадный радиомаяк (ГРМ), ретранслятор дальномера (маркерные маяки), бортовое оборудование (КРП, ГРП, МРП, указатели курса и глиссады).

Наземная часть РМС состоит из двух радиомаяков — курсового (КРМ) и глиссадного (ГРМ). Они излучают два наклонных луча (равносигнальные зоны) в вертикальной и горизонтальной плоскости. Пересечение этих зон образует траекторию захода на посадку.

Бортовые устройства включают в себя приёмную антенну, бортовой приёмник и устройства индикации о положении относительно заданной траектории захода на посадку.

Различают РМС І-й категории (обеспечивающие заход до высоты 60 м), ІІ-й категории (заход до высоты 15 м) и ІІІ-й категории (до поверхности взлётно-посадочной полосы и вдоль неё).

Принцип работы: курсовой радиомаяк задаёт в пространстве вертикальную плоскость посадочного курса, которая совмещается с осью ВПП. Глиссадный радиомаяк задаёт в пространстве плоскость планирования, наклонную к горизонтальной. В результате пересечения двух указанных плоскостей образуется глиссада.

Достоинства: позволяют снизить минимум погоды аэродрома и самолётов, повысить пропускную способность аэродромов при заходе самолётов на посадку.

Недостатки:

- Системы метрового диапазона критичны к состоянию отражающей поверхности земли, что требует тщательного ухода за поверхностью земли в районе установки ГРМ (очистка снежного покрова, скашивание травы и т.д.).
- Низкая мобильность антенных систем РМС метрового диапазона из-за громоздкости конструкции.
- Использование бортового оборудования РМС (КРП, ГРП) только при посадке ЛА.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Метод цифрового моделирования радиополя. Основные способы.

Правильный ответ:

Метод цифрового моделирования радиополя позволяет более точно прогнозировать распределение радиополя в зоне обслуживания радиоэлектронных систем.

Основные способы цифрового моделирования радиополя:

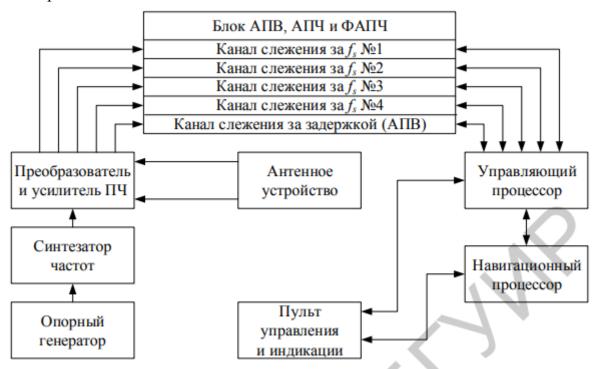
- Моделирование рассеяния электромагнитных волн на статистически неровной поверхности. Заключается в моделировании трёхмерной области с заданными характеристиками распределением шероховатостей, диэлектрической проницаемостью, проводимостью. Исследуемая часть поверхности облучается источником радиополя, параметрами которого являются диаграмма направленности, частота и мощность излучения. Распределение радиополя определяется на основе метода конечных элементов, что позволяет учесть эффект рассеяния на всех неровностях исследуемого участка поверхности.
- Метод Монте-Карло. Позволяет более точно отследить случайный характер рассеянного поля.

Моделирование отражений от растительных покровов. Для решения этой задачи используются методы корреляционного анализа и феноменологические модели.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Составить функциональную схему аппаратуры потребителя системы спутниковой навигации ГЛОНАСС. Исходные данные: - количество приемных каналов — четыре; - использовать открытый код дальномерного сигнала.

Правильный ответ:



Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_12

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Радиомаячные системы посадки метрового диапазона. Равносигнальный радиомаяк.

Правильный ответ:

Радиомаячная система посадки (РМС) метрового диапазона — совокупность наземных и бортовых радиотехнических устройств, обеспечивающих на борту воздушного судна информацию, необходимую для управления им в процессе захода на посадку и при посадке.

К наземному оборудованию РМС относятся:

- Курсовой радиомаяк (КРМ). Излучает в пространство сигналы, содержащие информацию для управления воздушным судном по курсу при выполнении захода на посадку и при посадке.
- Глиссадный маяк (ГРМ). Излучает в пространство сигналы, содержащие информацию для управления воздушным судном в вертикальной плоскости при выполнении захода на посадку и при посадке.
- Ближний маркерный радиомаяк (БМРМ). Предназначен для обеспечения экипажа воздушного судна информацией о близости перехода на визуальный этап полёта в условиях захода на посадку со сниженным минимумом посадки.
- Дальний маркерный радиомаяк (ДМРМ). Предназначен для обеспечения экипажа воздушного судна информацией о необходимых для проверки высоте, расстоянии от ВПП и функционирования оборудования на конечном этапе захода на посадку.

Системы посадки метрового диапазона формируют траекторию посадки самолёта и обеспечивают его посадку в сложных метеоусловиях.

Радиомаячные системы посадки подразделяются на системы первой, второй и третьей категории (PMC-1, PMC-2, PMC-3). В гражданской авиации в настоящее время используются системы СП-75, -80, -90, -200.

Равносигнальный радиомаяк — это вид створного радиомаяка, в котором узконаправленными пучками передаются два сигнала, например буквы А и Н. Пучки направлены так, что секторы слышимости А и Н частично накладываются друг на друга. В результате образуется равносигнальная зона, где слышимые с одинаковой силой звуки А и Н сливаются в одно сплошное тире.

Также равносигнальные радиомаяки используются в радиомаячных системах посадки для задания направления в процессе захода на посадку и посадки воздушных судов. З Антенны таких радиомаяков с пересекающимися диаграммами направленности излучают АМ колебания с частотой модуляции $\Omega 1 = 90$ Гц в одном лепестке и $\Omega 2 = 150$ Гц в другом. Равносигнальная зона совпадает с вертикальной плоскостью, содержащей ось ВПП. Поле с частотой модуляции $\Omega 1$ преобладает справа от оси ВПП по направлению захода ВС на посадку, а с частотой $\Omega 2$ — слева от неё.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Источники ошибок при позиционировании. Распространение вне зоны прямой видимости и погрешности при цифровом моделировании радиополя.

Правильный ответ:

К основным источникам ошибок при позиционировании относятся:

- 1. Неточность эфемерид спутников.
- 2. Ионосферные ошибки. Возникают из-за влияния плазменного состояния атмосферы на сигналы GPS.
- 3. Тропосферные ошибки. Связаны с изменением атмосферы ниже уровня ионосферы тропосферы.
- 4. Ошибки многолучевости. Возникают из-за отражений сигнала от поверхности земли или объектов в пределах видимости.
- 5. Ошибки часов приёмника. Связаны с временными огрехами в работе GPS-ориентированных устройств.

Распространение радиоволн вне зоны прямой видимости происходит благодаря нескольким явлениям:

- Дифракция радиоволн. При встрече с препятствиями радиоволны огибают их и проникают в область тени, отклоняясь от прямолинейного пути. Когда передающая и приёмная антенны разделены выпуклостью земного шара, дифракция радиоволн является одной из причин приёма сигналов за пределами прямой видимости.
- Нормальная тропосферная рефракция (преломление). Показатель преломления зависит от давления и температуры воздуха, которые убывают с высотой. Это приводит к увеличению максимальной дальности возможного уверенного приёма по сравнению с максимальной дальностью, ограниченной условиями прямой видимости.
- Рассеяние радиоволн. Происходит различными наземными металлическими предметами в виде железобетонных масс зданий, мостов,

мачт, а также неоднородностями в верхних слоях атмосферы. В результате рассеяния возникают вторичные излучения сигнала, которые значительно слабее по мощности основного.

Погрешности при цифровом моделировании радиополя — это ошибки, которые возникают из-за неточности измерений и неопределённости значений параметров, используемых в модели.

Источники погрешностей при цифровом моделировании радиополя:

- Погрешность представления аналоговых сигналов. Она связана с квантованием значений и определяется разрядностью чисел в вычислительной машине.
- Погрешность измерений. Значения параметров, используемые в модели, измеряются с некоторой погрешностью, что приводит к неопределённости аргументов измеряемых зависимостей.
- Погрешности в результатах измерений на реальной системе. Они приводят к неопределённостям значений измеряемых зависимостей.

Для учёта погрешностей при оценке адекватности модели необходимо использовать методы математической статистики.

Также на результаты расчёта могут влиять погрешности определения абсолютных высот мест размещения радиоэлектронных средств с использованием цифровой матрицы рельефа (ЦМР).

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Рассчитать погрешность измерения квазискорости а СРНС. Исходные данные:

Рабочие длины волн GPS: $\lambda_1 = 19$ см и $\lambda_2 = 24,5$ см;

Время единичных измерений Т_н=200 мс.

Полоса пропускания следящего измерителя квазискорости: Δf_{ϕ} =20 Гц.

Отношение мощности сигнала и спектральной плотности шума приемника потребителя $P_c/N_0=1000~\Gamma$ ц.

Правильный ответ:

Рассчитаем ошибку измерения доплеровского сдвига частоты:

$$oldsymbol{ au}_{\mathrm{\phi} {\scriptscriptstyle
m J} F_g} = \sqrt{oldsymbol{\mathcal{S}}^{\hat{}}_{\scriptscriptstyle
m SKB}/oldsymbol{T}_{\scriptscriptstyle
m H}}$$
 ,

где
$$\mathcal{S}_{\scriptscriptstyle \mathrm{ЭКВ}} = \frac{\left(\Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}\right)^2 \cdot (\mathbf{1} + \boldsymbol{\rho})}{4\pi \cdot \boldsymbol{\rho}^2 \cdot \Delta F_g}; \; \boldsymbol{\rho} = \frac{P_c}{N_0} \cdot T_{\mathrm{KH}}; \; T_{\mathrm{KH}} = \frac{1}{\Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}}; \; \Delta F_g = \frac{1}{T_H} + \Delta f_{\scriptscriptstyle \Phi}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$au_{\phi\pi V_1}=\lambda_1\cdot au_{\phi\pi F_g}=6.8\,\,\mathrm{cm/c}$$

$$au_{\phi ext{ iny N} V_2} = \lambda_2 \cdot au_{\phi ext{ iny N} F_g} = ext{8,8 cm/c}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_13

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Радиовысотомер с частотной модуляцией.

Правильный ответ:

Радиовысотомер с частотной модуляцией — бортовое устройство для определения истинной высоты полёта летательного аппарата (самолёта, вертолёта, спутника и т. д.) над поверхностью Земли радиотехническими методами.

Принцип работы основан на определении разности частот прямого (излучаемого) и отражённого частотно-модулированных сигналов.

Особенности радиовысотомеров с частотной модуляцией:

- имеют диапазон измерений до нескольких сотен метров (обычно до 1500 м);
 - используются в основном при заходе самолёта на посадку.

Принцип действия: при частотной модуляции радиосигнала пилообразными или треугольными импульсами, результирующий сигнал представляет собой высокочастотные колебания, с мгновенной частотой, кусочно-линейно изменяемой по времени, то есть задержанный сигнал по мгновенной частоте немного отличается от исходного. При смешивании излучаемого и принимаемого сигналов образуется биения с частотой, равной разности мгновенных частот, так как закон изменения мгновенной частоты по времени линеен, разностная частота пропорциональна задержке. Частота биений измеряется частотомером (аналоговым в старых моделях или цифровым — в новых), после чего измерительная информация выводится на показывающее устройство в виде значения расстояния до земли.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Метод цифрового моделирования радиополя. Основные способы.

Правильный ответ:

Метод цифрового моделирования радиополя позволяет более точно прогнозировать распределение радиополя в зоне обслуживания радиоэлектронных систем.

Основные способы цифрового моделирования радиополя:

- Моделирование рассеяния электромагнитных волн на статистически неровной поверхности. Заключается в моделировании трёхмерной области с заданными характеристиками распределением шероховатостей, диэлектрической проницаемостью, проводимостью. Исследуемая часть поверхности облучается источником радиополя, параметрами которого являются диаграмма направленности, частота и мощность излучения. Распределение радиополя определяется на основе метода конечных элементов, что позволяет учесть эффект рассеяния на всех неровностях исследуемого участка поверхности.
- Метод Монте-Карло. Позволяет более точно отследить случайный характер рассеянного поля. Моделирование отражений от растительных покровов. Для решения этой задачи используются методы корреляционного анализа и феноменологические модели.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик СРНС. Исходные данные:

Высота орбиты навигационных спутников: $Hc=19\ 100\ km$; Период обращения спутника вокруг Земли: $Toб=12\ ч$; Длительность дискрета сигнала псевдослучайной последовательности: $Tg=1\ mkc$; Отношение мощности сигнала к спектральной плотности шума радиоприемника потребителя: $t^2c/N0=103\ \Gamma u$; Полоса флуктуаций сигнала: $\Delta f\varphi=25\ \Gamma u$; Время однократного измерения $Tu=50\ mc$; Время работы аппаратуры потребителя с навигационными спутниками $Th=12\ v$; Полоса пропускания следящего измерителя дальности: $\Delta f\alpha 0$; Время когерентного накопления сигнала: Tkh; Диапазон блуждания времени запаздывания сигнала: $\Delta tr0$;

Правильный ответ:

Разрешающая способность по дальности равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = c \cdot T_{\mathrm{A}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} = 300 \text{ M}.$$

Рассчитаем флуктуационную ошибку измерения псевдодальности, обусловленную внутренними шумами приемника потребителя:

Здесь $T_{\alpha_0} = \frac{1}{\Delta f_{\alpha_0}}$ — память следящей системы измерителя псевдодальности, а $\frac{\tau_{\rm c}^2}{N_0} \cdot T_{\alpha_0}$ — отношение сигнал/шум по мощности при времени когерентного накопления, равном памяти замкнутой следящей системы измерителя псевдодальности.

Полагая систему слежения за задержкой кода астатической первого порядка, находим

$$\tau_{\Phi\Pi}^2 r_1 = \frac{\left(\Delta r\right)^2}{4\pi \cdot \frac{\tau_c^2}{N_0}} \cdot \frac{K_{\nu_z}}{2},$$

где K_{v_z} – коэффициент преобразования по скорости измерителя псевдодальности.

Результаты расчета флуктуационной ошибки измерителя псевдодальности, обусловленной внутренними шумами приемника аппаратуры потребителя в зависимости от полосы пропускания замкнутого следящего измерителя псевдодальности Δf_{α_0} сведем в табл. 19.1.

Таблица 19.1 Результаты расчета флуктуационной ошибки измерителя псевдодальности

Ą	$f_{\alpha_0} = \frac{K_{\nu_z}}{2}, \ 1/c$	0,5	0	10	15	20	25	50
	$ au_{\varphi \pi \prime \gamma}$, м	1,9	6	8,5	10,4	12	13,4	19

Рассчитаем динамическую ошибку измерения псевдодальности по формуле

$$\tau_{\text{ДИН}r} = \frac{V_r}{K_{V_z}},$$

где V_r — радиальная составлявшая скорости $V_{\rm c}$ навигационного спутника ($V_r = V_{\rm c} \cdot \sin \alpha$, рис. 19.1).

Из рис. 19.1 получим

$$V_{\rm c} = \frac{2\pi \left(H_{\rm c} + R_{\rm 3}\right)}{T_{\rm o6}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \left(19\ 100 + 6400\right) \cdot 10^{\rm 3}}{12 \cdot 3600} = 3700 \ {\rm m/c} \ ,$$

где $R_3 = 6400$ км.

Для аппаратуры гражданских потребителей $\alpha = 5^{\circ}$. Тогда

$$V_r = 3700 \cdot 0,087 = 322 \text{ m/c}.$$

Находим динамическую ошибку в зависимости от полосы пропускания замкнутого следящего измерителя псевдодальности, а результаты расчетов сведем в табл. 19.2.

Таблица 19.2

Результаты расчета динамической ошибки $\Delta f_{\alpha_0} = \frac{K_{\nu_z}}{2}, \ 1/c \qquad 0,5 \qquad 0 \qquad 10 \qquad 15 \qquad 20 \qquad 25 \qquad 50$ $\tau_{\phi_{\Omega \nu_1}}, \ \mathbf{M} \qquad 322 \quad 32,2 \quad 16,1 \quad 10,7 \quad 8 \qquad 4,4 \qquad 3,2$

Сопоставляя $au_{\phi n r_1}$ и $au_{\text{дин} r_1}$, находим оптимальное значение Δf_{α_0} , при котором эти ошибки примерно одинаковы:

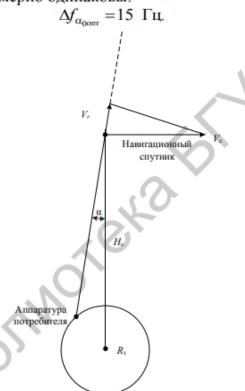


Рис. 19.1. Диаграмма для расчета радиальной составляющей вектора скорости навигационного спутника

Рассчитаем флуктуационную ошибку измерения псевдодальности, обусловленную «шумами дальности», возникающими из-за дисперсных явлений скорости распространения электромагнитных волн:

$$\tau_{\phi \pi r_2}^2 = S''_{\text{экв} r} \cdot \frac{T}{T_{\text{H}}} \cdot \Delta f_{\alpha_0},$$

Тогда окончательно

$$\tau_{\phi_{ЛP}} = \frac{c \cdot \Delta t_{rc}}{\sqrt{4\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{\alpha_0}}{\Delta F_{NC}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0, 4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot \sqrt{3,14}} \cdot \sqrt{\frac{15}{45}} = 19,6 \text{ м} \,.$$

Особенность этой ошибки состоит в наличии сильной пространственной обусловленной тем, что условия распространения электромагнитных волн через ионосферу и тропосферу характеризуются радиусом пространственной корреляции, соизмеримым с радиусом Земли, что создает предпосылки для компенсации этой составляющей ошибки в дифференциальном режиме работы СРНС.

Таким образом, общая ошибка измерения псевдодальности равна
$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\tau_{\varphi\Pi\eta}^2 + \tau_{ДИН}^2 + \tau_{\varphi\Pi\eta}^2} = \sqrt{10.4^2 + 10.7^2 + 19.6^2} = 24.6 \,\mathrm{m} \,.$$

С учетом того что ошибка местоопределения объекта наблюдения в результате совместного решения четырех навигационных уравнений примерно удваивается, суммарная ошибка $\sigma \approx 2\sigma_{\Sigma} \approx 50$ м.

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_14

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Амплитудный радиомаяк и радиопеленгатор.

Правильный ответ:

Амплитудный радиомаяк — передающая радиостанция, излучающая радиосигналы, направление на которые определяется измерением интенсивности принятого сигнала.

Такие радиомаяки наиболее распространены.

Радиопеленгатор — это устройство для определения направления (пеленга) на источник радиоизлучения, его координаты и другие параметры.

Радиопеленгатор состоит из антенной системы и приёмно-индикаторного устройства.

Некоторые виды радиопеленгаторов:

- Мобильные наземного и воздушного базирования. Например, пеленгатор «АРТИКУЛ-М1» предназначен для установки на транспортное средство, а «АРТИКУЛ-В3» для установки на летательные аппараты.
- Стационарные. Например, пеленгатор «АРК-СП» работает в диапазоне частот 20–3000 МГц.
- Авиационные поисковые. Например, радиопеленгатор РПА-500 предназначен для определения направления на источник радиоизлучения в диапазоне частот от 100 до 512 МГц.

Радиопеленгация используется в радионавигации, поисковоспасательных операциях, спортивной радиопеленгации, радиоразведке и устранении радиопомех.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Непараметрические методы оценки положения.

Правильный ответ:

Непараметрические методы оценки положения включают использование разнообразных мер, таких как медиана, мода, квартили, для представления более полной картины данных.

Эти методы позволяют решить задачи, которые часто возникают в исследованиях в гуманитарных областях, психологии и педагогике: выявление различий в уровне исследуемого признака, оценка сдвига значений исследуемого признака, выявление различий в распределениях.

Некоторые непараметрические методы оценки положения:

- Двухвыборочный критерий Колмогорова-Смирнова. Используется для проверки гипотезы о принадлежности двух независимых выборок одному закону распределения.
- Дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса. Проверяет гипотезу о том, имеют ли сравниваемые выборки одно и то же распределение или же распределения с одной и той же медианой.
- Критерий согласия Кёйпера. Используется для проверки противоречит ли данное распределение или семейство распределений признакам выборки данных.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Омега». Исходные данные: Исходные частоты РНТ: f_1 =10,2 кГц, f_2 =11,33 кГц, f_3 =13,6 кГц; Высота Dслоя ионосферы: $H_D=80$ км; Толщина D-слоя ионосферы: $\Delta H_D=80$ км; Расстояние до радионавигационной точки: $r_{PHT}=10^4$ км; База: $\alpha=900$ км; Радиус пространственной корреляции: $R_k=2700$; Время наблюдения $T_H=500$ мс; Полоса флуктуаций сигнала: $\Delta f_c = 20$ Гц; Функционально необходимое число баз: N_{баз}=2.

Правильный ответ:

Найдем приращение расстояния, пройденного пространственной волной (рис. 18.1) при отражении от D-слоя ионосферы: $r_{\scriptscriptstyle 0} - r_{\scriptscriptstyle \mathrm{PHT}} = \frac{2 \cdot H_{\scriptscriptstyle D}^{\ 2}}{r_{\scriptscriptstyle \mathrm{PHT}}} = \frac{2 \cdot 80^2}{10^4} = 1{,}28 \ \ \mathrm{KM} \ .$

$$r_{0} - r_{\text{PHT}} = \frac{2 \cdot H_{D}^{2}}{r_{\text{PHT}}} = \frac{2 \cdot 80^{2}}{10^{4}} = 1,28 \text{ KM}.$$

Диапазон блуждания пространственной волны равен

$$\Delta r = \frac{4 \cdot H_D}{r_{\text{phr}}} \cdot \Delta H_D = \frac{4 \cdot 80 \cdot 30}{10^4} = 0,96 \text{ km}.$$

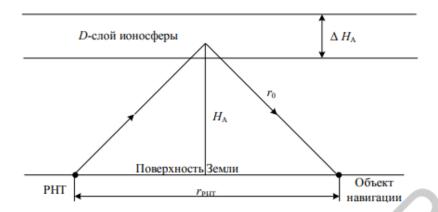


Рис. 18.1. Переотражение пространственной волны от D-слоя ионосферы

Диапазон блуждания разности расстояний равен

$$\Delta r_{1,2} = \Delta r_0 \cdot \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \alpha}{4R_k} = 960 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 3,14} \cdot 900 \cdot 10^3}{4 \cdot 2700 \cdot 10^3} = 200 \text{ m}.$$

Рассчитаем эквивалентную спектральную плотность возмущавшего воздействия:

$$S_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} = S'_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} + S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}}.$$

Тогда

$$S''_{3\text{KB}\Delta r_{1,2}} = \frac{(\Delta r_{1,2})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{(200)^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 22} = 145 \,\text{M}^2/\Gamma_{\text{II}},$$

где
$$R = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\Delta r_{1,2}}{\Delta r_{\text{одн}}}\right)^2 + 1} \approx 1;$$

$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\text{tr}}} + \Delta f_{\text{C}} = 2 + 20 = 22 \text{ Ги.}$$

Так как при использовании f_1 получим $\Delta r_{\rm одн} = 15$ км, при использовании f_1 и f_3 получим $\Delta r_{\rm одн} = 44$ км, а при f_1 и $f_2 - \Delta r_{\rm одн} = 132$ км.

Тогда флуктуационная ошибка измерения разности расстояний до двух опорных РНТ будет равна

$$\tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} = \sqrt{S''_{\text{экв}\Delta r_{1,2}}/T_{\text{н}}} = \sqrt{145/0,5} = 17 \text{ м.}$$

Флуктуационная ошибка измерения расстояния от объекта навигации до опорных РНТ равна

$$au_{\text{фл}r_{\text{PHT}}} = 2 \cdot \left(\frac{r_{\text{PHT}}}{\alpha}\right)^2 \cdot au_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} \sqrt{N_{\text{баз}}} = 2 \cdot \left(\frac{10^4}{900}\right)^2 \cdot 17 \cdot \sqrt{2} = 6 \text{ м.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайки
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_15

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Автоматический радиокомпас. Сигналы и структурная схема.

Правильный ответ:

Автоматический радиокомпас (APK) — бортовой радиопеленгатор, предназначенный для навигации летательных аппаратов по сигналам наземных радиостанций путём непрерывного измерения курсового угла радиостанции (КУР).

Курсовой угол радиостанции — угол, заключённый между продольной осью воздушного судна и направлением на радиостанцию, отсчитываемый по часовой стрелке.

В отличие от радиополукомпаса, требующего ручного поворота антенны, автоматический радиокомпас после настройки на несущую частоту радиостанции без участия человека (оператора) непрерывно измеряет значение КУР. КУР отображается на стрелочном или цифровом индикаторе, а также может передаваться в бортовую навигационную систему.

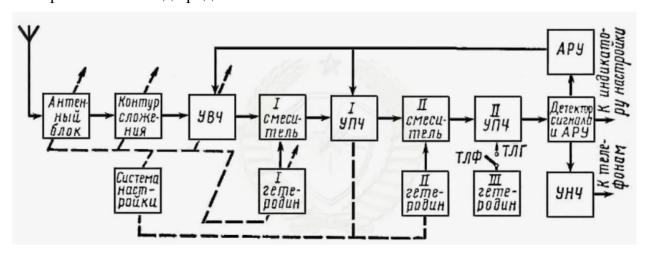
По назначению и диапазону частот АРК делятся на две группы — средневолновые (навигационные) и аварийные (поисковые):

- Средневолновые АРК предназначены для обеспечения полётов по приводным (ПРС) и широковещательным (ШРС) радиостанциям, путём непрерывного измерения КУР. Диапазоны рабочих частот средневолновых АРК от 150 кГц до 1299,5 кГц или до 1749,5 кГц, или до 1799,5 кГц.
- Аварийные АРК применяются для вывода на аварийную УКВ радиостанцию или аварийный радиомаяк при поисково-спасательных работах. Диапазон частот поискового АРК находится в пределах 100–150 МГп.

Сигналы в автоматическом радиокомпасе (APK) поступают с выхода антенны. Они усиливаются радиоприёмником, преобразуются, и на выходе с их помощью формируется управляющее напряжение, воздействующее на двигатель.

Уровень сигнала на выходе приёмника зависит от положения антенны относительно направления на пеленгующую радиостанцию. В момент, когда нормаль к плоскости витков рамочной антенны совпадает с направлением на радиостанцию, сигнал минимальный и равен нулю.

Также сигналы радиостанции могут прослушиваться с помощью телефонов на выходе радиокомпаса.



2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Параметрические методы оценки положения.

Правильный ответ:

Параметрические методы оценки положения используются, например, в позиционировании на основе фингерпринтинга, когда положение пользователя определяется с использованием базы данных мощностей радиосигнала, ранее измеренных и привязанных к координатам.

Такие методы позволяют значительно сократить объём данных, сохраняя только некоторые суммирующие отчёты о расположении, приёме или наблюдении и параметры модели распространения сигнала. Например, положение пользователя оценивается путём вычисления оценок расстояния между пользователем и точкой доступа по полученным измерениям RSS/RSSI в модели распространения сигнала.

Параметрические методы включают три группы:

- 1. Методы, использующие области покрытия. Позволяют сократить размер радиокарты, обеспечивая достаточную точность позиционирования для большого количества приложений.
- 2. Методы, использующие потери при распространении сигнала. Модели потерь сигнала при распространении калибруются по данным фингерпринтинга.
- 3. Методы, использующие смесь нормальных распределений. Применяются в нелинейных и/или негауссовских системах, где традиционные методы типа фильтра Калмана и обобщённого фильтра Калмана работают плохо.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Лоран-С». Исходные данные: Мощность излучения передатчика радионавигационной точки: P_0 =3 МВт; База: α =560 км; Расстояние до радионавигационной точки: r_{PHT} =2000 км; Ширина спектра сигнала: Δf_0 =1 к Γ ц; Диапазон блуждания времени запаздывания поверхностной волны: Δt_{r0} =160 нс; Время наблюдения T_{H} =200 мс; Полоса флуктуаций сигнала: Δf_{c} =25 Γ ц; Функционально необходимое число баз: N_{6a3} =2.

Правильный ответ:

Диапазон блуждания расстояния, пройденного поверхностной волной из-за дисперсии скорости распространения электромагнитной волны в атмосфере равен

$$\Delta r = c \cdot \Delta t_{r_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 30 \text{ M}.$$

Для диапазона блуждания разности расстояний от объекта навигации до двух РНТ с учетом их некоррелированности при использовании поверхностной волны получаем

$$\Delta r_{1.2} = \sqrt{2} \cdot \Delta r_0 = 42 \,\mathrm{M}.$$

Разрешающая способность по разности расстояний равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{1000} = 3 \cdot 10^5 \,\mathrm{m}.$$

$$S_{\rm ЭКВ}\Delta r_{1,2} = S"_{\rm ЭКВ}\Delta r_{1,2} = \frac{(\Delta r_{1,2})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{\rm NC}} = \frac{42^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 30} = 4,68 \text{ M}^2 / \Gamma \text{Ц} ,$$
 где $R = \sqrt{2} \left(\frac{\Delta r_{1,2}}{\Delta r}\right)^2 + 1 \approx 1;$
$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{\rm H}} + \Delta f_{\rm C} = 5 + 25 = 30 \text{ } \Gamma \text{Ц}.$$

Отсюда флуктационная ошибка измерения разности расстояний из-за «шумов дальности» равна

$$\tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} = \sqrt{S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}}/T_{\text{H}}} = \sqrt{4,68/200 \cdot 10^{-3}} = 4,8 \text{ м}.$$

Ошибка измерения расстояния до опорной РНТ равна

$$\tau_{\text{фл/PTH}} = 2 \cdot \left(\frac{r_{\text{PTH}}}{\alpha}\right)^2 \cdot \tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} \cdot \sqrt{N_{\text{баз}}} = 2 \cdot \left(\frac{2000}{560}\right)^2 \cdot 4.8 \cdot \sqrt{2} = 173 \text{ M}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_16

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла: Фазовый автоматический радиокомпас.

Правильный ответ:

Автоматический радиокомпас (APK) — бортовой радиопеленгатор, предназначенный для навигации летательных аппаратов по сигналам наземных радиостанций путём непрерывного измерения курсового угла радиостанции (КУР).

Принцип работы: после настройки на несущую частоту радиостанции АРК без участия человека (оператора) непрерывно измеряет значение КУР. КУР отображается на стрелочном или цифровом индикаторе, а также может передаваться в бортовую навигационную систему.

Некоторые задачи, которые решает АРК:

- осуществление полёта ВС на радиостанцию или от неё в заданном направлении с визуальной индикацией КУР;
- определение пеленга на радиостанцию с использованием данных о текущем курсе ВС;
 - выполнение захода на посадку по системе посадки ОСП;
- определение местоположения ВС методом линий положения по двум радиомаякам, расположенным в точках с известными координатами;
 - прослушивание позывных приводных радиостанций.

Пример фазового автоматического радиокомпаса — APK-22. В нём реализован принцип переноса информации о направлении на пеленгуемую ПРС в параметр сигнала, подлежащего обработке. В результате сигнал на выходе КС будет модулирован по амплитуде и фазе, причём информация о КУР будет содержаться именно в законе фазовой модуляции (ФМ). По этой причине APK-22 называется радиокомпасом с внутренней фазовой модуляцией.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы оценки положения объекта. Латерация, ангуляция, гибридные методы. Основные источники погрешностей.

Правильный ответ:

Оценка положения объекта — это задача определения положения и ориентации объекта или группы объектов в пространстве.

Существует несколько методов решения этой задачи:

- 1. Акустические методы. Используют ультразвуковые (высокочастотные) звуковые волны для измерения положения и ориентации объекта в пространстве.
- 2. Радиочастотные методы. Основаны на использовании радиочастотных идентификаторов (RFID).
- 3. Одометрия. Для оценки перемещения объекта в пространстве используются данные о движении приводов роботов. Распространённые методы одометрии: применение энкодеров, инерциальных измерительных устройств, визуальная одометрия, применение GPS или ГЛОНАСС.
- 4. Оптические методы. Для определения положения объекта в пространстве используется задача PnP (Perspective-n-Point), когда по перспективной проекции объекта на плоскость сенсора камеры нужно найти положение объекта в 3D-пространстве.

Латерация в радионавигации — это метод, в котором местоположение объекта определяется на основе оценки расстояний объекта до произвольного числа опорных радионавигационных точек, в которых размещены приёмники, способные принимать сигналы, излучаемые с борта объекта.

Ангуляция в радионавигации — это метод, в котором местоположение объекта находится с помощью вычисления углов прямых сигналов от нескольких точек доступа. Для этого метода требуется чёткая прямая видимость.

Гибридные методы в радионавигации — это методы, которые объединяют в себе элементы разных подходов для повышения точности оценки местоположения объекта. Например, в пассивной радиолокации для этого измеряют пространственные параметры принятых сигналов: разности расстояний от объекта до пунктов приёма, разности доплеровских сдвигов частот, угловые координаты объекта и другие.

К основным источникам ошибок при позиционировании относятся:

- 1. Неточность эфемерид спутников.
- 2. Ионосферные ошибки. Возникают из-за влияния плазменного состояния атмосферы на сигналы GPS.
- 3. Тропосферные ошибки. Связаны с изменением атмосферы ниже уровня ионосферы тропосферы.
- 4. Ошибки многолучевости. Возникают из-за отражений сигнала от поверхности земли или объектов в пределах видимости.

5. Ошибки часов приёмника. Связаны с временными огрехами в работе GPS-ориентированных устройств.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик системы «Лоран-А». Исходные данные: Диапазон блуждания времени запаздывания поверхностной волны: Δt_{r0} =160 мкс; База: α =1000 км; Расстояние до радионавигационной точки: r_{PHT} =1500 км; Радиус пространственной корреляции: R_k =2700 км; Мощность излучения передатчика радионавигационной точки: P_0 =100 КВт; Время наблюдения T_{H} =500 мс; Полоса флуктуаций сигнала: Δf_{c} =20 Гц; Длительность сигнала: T_0 =200 мс; Рабочая частота: f_0 =2 мГц.

Правильный ответ:

Разрешающая способность по разности расстояний равна

$$\Delta r = \frac{c}{\Delta f_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^4 \,\mathrm{m}.$$

Диапазон блуждания разности расстояний от объекта навигации до двух опорных РНТ:

$$\Delta r_{1,2} = \Delta r_0 \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \alpha}{4R_k} = 48 \cdot \frac{2,5 \cdot 1000}{4 \cdot 2700} = 11,1$$
 km,

где $\Delta r_0 -$ диапазон блуждания пространственной волны $\left(\Delta r_0 = c \cdot \Delta t_{r_0} = 3 \cdot 10^8 \cdot 160 \cdot 10^{-6} = 48 \,\mathrm{km}\right)$.

Эквивалентная спектральная мощность возмущающего воздействия равна

Флуктуационная ошибка измерения разности расстояний из-за «шумов дальности» равна

$$\tau_{\text{фл}\Delta r_{1,2}} = S''_{\text{ЭКВ}\Delta r_{1,2}} \cdot \frac{1}{T_{\text{H}}} = 4,5 \cdot 10^5 \, / \, 0,5 = 950 \text{ м}.$$

Тогда флуктуационная ошибка определения местонахождения объекта навигации равна

$$\tau_{\phi nr} = 2 \left(\frac{r_{\text{РТH}}}{\alpha} \right)^2 \tau_{\phi n \Delta r_{1,2}} = 2 \cdot \left(\frac{1500}{1000} \right)^2 \cdot 0,95 = 4,3 \text{ км.}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_17

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Радиомаячные системы посадки сантиметрового диапазона.

Правильный ответ:

Радиомаячная система посадки сантиметрового диапазона (микроволновая система посадки, МСП) — это радионавигационная система захода на посадку, использующая сантиметровые волны.

Она представляет собой комплекс оборудования, состоящий из азимутального радиомаяка, угломестного радиомаяка и дальномерного радиомаяка, а также аналогичных приёмников на борту воздушного судна.

Система использует узкий радиолуч для сканирования окружающего пространства в пределах её рабочего сектора. Диаграмма направленности за короткий период времени перемещается по боковому и продольному каналу и фиксирует угловые значения в момент отклика оборудования воздушного судна на её сигнал. Также фиксируется дальномерное значение. Далее эта информация передаётся на борт воздушного судна, позволяя определить его точное положение относительно маяков системы и торца взлётно-посадочной полосы в пределах широкого рабочего сектора.

Преимущества системы посадки сантиметрового диапазона по сравнению с системами метрового диапазона заключаются в меньшей восприимчивости к подстилающей поверхности и условиям погоды. Также микроволновая система позволяет поддерживать ведение по посадочной прямой с большим числом воздушных судов одновременно.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла: Методы оценки параметров при позиционировании. RSS, TOA, TDOA, AOA.

Правильный ответ:

Методы оценки параметров при позиционировании в радионавигации — это способы определения координат объекта на основе измерения радионавигационных параметров, таких как дальность, радиальная скорость и угловая координата.

Методы оценки параметров при позиционировании в радионавигации:

- 1. RSS (мощность принимаемого сигнала). Подход на основе диапазона позволяет оценить расстояние от приёмника до точки беспроводного доступа, преобразовать RSS в значение метрики и использовать известные местоположения точек доступа. Расстояния сравниваются для определения местоположения приёмника.
- 2. ТОА (время прихода). Метод основан на измерении задержки распространения радиосигнала между мобильным устройством и базовой станцией. Мобильное устройство отправляет сигнал в точно известное базовой станции время, а станция измеряет временной интервал между отправкой сигнала мобильным устройством и получением его. Расстояние определяется по формуле S=t*c (где t время, а с скорость света).
- 3. TDOA (разница во времени прихода). Метод основан на измерении разницы во времени передачи сигнала от мобильного устройства до базовой станции с синхронизированными часами и заранее известным местоположением. Зная разницу во времени получения сигнала, с помощью математической обработки можно получить расстояние от мобильного устройства до базовых станций.
- 4. АОА (угол прихода). Метод основан на определении направления на источник сигнала. Для этого используются базовые станции, снабжённые несколькими антеннами, вращающейся антенной или фазированной антенной решёткой. Получив направление на источник сигнала от базовых станций, можно определить место его нахождения.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик доплеровских РНС. Исходные данные: Значение доплеровских частот в лучах: F_{gk} =17 к Γ ц, F_{gl} =9,9 к Γ ц, F_{gm} =-25,6 к Γ ц, F_{gn} =-18,5 к Γ ц; Азимут луча визирования: θ =45 0 ; Угол места луча визирования: γ_{α} =60 0 ; Рабочая длина волны передатчика: λ =2 см; Раскрыв бортовой антенны: La=1 м; Время наблюдения для единичного отсчета: Тн=200 м; Полоса пропускания доплеровских фильтров: Δf_{ϕ} =1 к Γ ц.

Рассчитаем продольную составляющую вектора скорости:

$$W_{_{X}} = \frac{\lambda \left[\left(F_{gk} - F_{gm} \right) + \left(F_{gl} - F_{gn} \right) \right]}{8 \cdot \cos \gamma_{\alpha} \cdot \cos \theta} = \frac{0.02 \left[\left(17 + 25.6 \right) + \left(9.9 + 18.5 \right) \right] \cdot 10^{3}}{8 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = 502 \quad \text{m/c} \; .$$

Для поперечной составляющей получим

$$W_{Z} = \frac{\lambda \left[\left(F_{gl} - F_{gn} \right) - \left(F_{gk} - F_{gm} \right) \right]}{8 \cdot \cos \gamma_{\alpha} \cdot \sin \theta} = \frac{0.02 \left[\left(9.9 + 18.5 \right) - \left(17 + 25.6 \right) \right] \cdot 10^{3}}{8 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = -92 \quad \text{m/c} \; .$$

Вертикальная составляющая вектора скорости равна

$$W_{y} = -\frac{\lambda \left[\left(F_{gk} + F_{gm} \right) \right]}{4 \cdot \sin \gamma_{\alpha}} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \left(17 - 25, 6 \right) \cdot 10^{3}}{4 \cdot 0,866} = 49,6 \text{ m/c}.$$

Рассчитаем угол сноса:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{W_Z}{W_X} = -\frac{92}{502} = -0.18, \ \alpha = -10.4 \text{ град}.$$

Путевая скорость равна

$$W_n = \frac{W_x}{\cos \alpha} = \frac{502}{0.98} = 512 \text{ m/c}$$
.

Найдем ширину спектра флуктуаций отражений от «набегающей» поверхности:

$$\Delta F_{gk,l,m,n} = \frac{\sqrt{2W_n}}{\lambda} \cdot \sin\eta_{k,l,m,n} \cdot \Delta\eta,$$

где $\eta_{k,l,m,n} = 60...120$ град,

Примем $\eta_{k,l,m,n}$ ≈ 90 град.

Тогда

$$\Delta F_{gc} = \frac{\sqrt{2}W_n}{\lambda} \cdot \Delta \eta = \frac{\sqrt{2}W_n}{\lambda} \cdot \frac{\lambda_n}{L_a} \approx \frac{\sqrt{2} \cdot 512}{0.02} \cdot \frac{0.02}{1} = 724 \text{ Fig.}$$

Определим эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия измерителей доплеровских частот:

$$S_{9\text{KB}F_g}' = \frac{\left(\Delta F_g\right)^2 \cdot \left(1+\rho\right)}{4\pi \cdot \rho^2 \cdot \Delta F_{\text{II}}} \rightarrow 0$$
, T. K. $\rho \rightarrow \infty$,

где ρ – отношение сигнал/шум, а $\Delta F_{II} = \frac{1}{T_{II}} + \Delta f_{\Phi} \approx \Delta f_{\Phi} = 1 \ \kappa \Gamma \text{ц}.$

Тогда

$$S''_{3\text{KB}}F_{g} = \frac{\left(\Delta F_{gc}\right)^{2}R^{2}}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}},$$

$$\Delta F_{NC} = \frac{1}{T_{H}} + \Delta F_{gc} = 5 + 724 \approx 730 \text{ FH},$$

$$R = \sqrt{2\left(\frac{\Delta F_{gc}}{\Delta F_{g}}\right)^{2} + 1} = \sqrt{2\left(\frac{724}{1000}\right)^{2} + 1} = 1,4.$$

3десь $\Delta F_g = \Delta f_{\dot{\Phi}}$.

Тогда

$$S''_{_{\text{ЭКВ}}F_g} = \frac{724^2 \cdot 1, 4^2}{4 \cdot 3, 14 \cdot 730} = 112 \text{ град}^2/\Gamma_{\text{Ц}}$$
.

В результате

$$S_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = S'_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} + S''_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = S''_{_{\mathrm{ЭКВ}F_g}} = 112 \mathrm{град}^2/\Gamma$$
ц.

Таким образом, флуктуационная ошибка разовых измерений доплеровских частот в лучах равна

Зависимость дисперсии ошибок вычисления скорости от дисперсии погрешностей измерения F_g определяется соотношением

$$\tau_{\phi\pi W_{T_{_{\mathbf{H}}}}}^{2} = \tau_{\phi\pi F_{g}}^{2} \left(\frac{\lambda_{_{0}}}{2\cos\eta_{_{0}}}\right)^{2},$$

где $\eta_0 = 90^{\circ}$.

Отсюда флуктуационная ошибка разовых измерений радиальных скоростей «набегающей» поверхности в лучах будет равна

$$\tau_{\Phi^{\Pi}W\tau_{T_{H}}} = \frac{\lambda}{2}\tau_{\Phi^{\Pi}F_{g}} = \frac{0.02}{2} \cdot 23.7 = 23.7 \cdot 10^{-2} \text{ M/c}.$$

Находим флуктуационные ошибки измерений продольной и поперечной составляющей вектора скорости:

$$\tau_{\phi\pi W_x} = \frac{\lambda \cdot \tau_{\phi\pi Fg}}{4 \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma_{\alpha}} = \frac{0.02 \cdot 23.7}{4 \cdot 0.707 \cdot 0.5} = 0.34 \text{ m/c},$$

$$\tau_{\phi\pi W_z} = \frac{\lambda \cdot \tau_{\phi\pi g}}{4 \cdot \sin\theta \cdot \cos\gamma_{\alpha}} = 0.34 \text{ m/c}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайки
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_18

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Радиовысотомер с частотной модуляцией.

Правильный ответ:

Радиовысотомер с частотной модуляцией — бортовое устройство для определения истинной высоты полёта летательного аппарата (самолёта, вертолёта, спутника и т. д.) над поверхностью Земли радиотехническими методами.

Принцип работы основан на определении разности частот прямого (излучаемого) и отражённого частотно-модулированных сигналов.

Особенности радиовысотомеров с частотной модуляцией:

- имеют диапазон измерений до нескольких сотен метров (обычно до 1500 м);
 - используются в основном при заходе самолёта на посадку.

Принцип действия: при частотной модуляции радиосигнала пилообразными или треугольными импульсами, результирующий сигнал представляет собой высокочастотные колебания, с мгновенной частотой, кусочно-линейно изменяемой по времени, то есть задержанный сигнал по мгновенной частоте немного отличается от исходного. При смешивании излучаемого и принимаемого сигналов образуется биения с частотой, равной разности мгновенных частот, так как закон изменения мгновенной частоты по времени линеен, разностная частота пропорциональна задержке. Частота биений измеряется частотомером (аналоговым в старых моделях или цифровым — в новых), после чего измерительная информация выводится на показывающее устройство в виде значения расстояния до земли.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы комплексирования в бортовых пилотажно-навигационных комплексах.

Правильный ответ:

Комплексирование в бортовых пилотажно-навигационных комплексах (ПНК) — это объединение основанных на различных физических принципах систем и датчиков навигационной информации в комплексную систему с целью повышения точности и надёжности измерений.

Различают два уровня комплексного применения навигационных средств:

- 1. Первый уровень характеризуется конструктивным объединением двух или более датчиков навигационной информации, измеряющих один и тот же навигационный параметр. Примером комплексирования первого уровня является гиромагнитный компас, в котором объединены два независимых измерителя, действие которых основано на различных физических явлениях.
- 2. Второй уровень (комплексная обработка навигационной информации) предполагает обработку информации, поступающей от нескольких датчиков, навигационным вычислителем по специальным алгоритмам для получения точных и надёжных оценок навигационных параметров движения ЛА. Как правило, используются оптимальные по отношению к выбранному критерию алгоритмы, например фильтр Калмана.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик курсовой и глиссандой радиомаячных систем. Исходные данные: Диапазон частот: 108,1...111,9 МГц. Ширина диаграмм направленности антенн КРМ и ГРП: $\Delta\theta$ = 20° ; Отношение сигнал/шум КРП/ГРП: ρ =1000; Диапазон блуждания энергетического центра КРМ и ГРМ из-за интерференционных явлений при распространении радиоволн: $\Delta\theta$ = $1,7^{\circ}$; Полоса флуктуаций сигнала: Δ fc=20 Гц; Время обращения к приводным КРМ и ГРМ: $T_{\rm H}$ =200 мс; Полоса пропускания радиосигнала КРП и ГРП: Δ F φ =1 кГц; Расстояние до ВПП: $R_{\rm BПП}$ =1 км.

Правильный ответ:

Рассчитаем эквивалентную спектральную плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов КРП и ГРП:

$$S'_{\text{экв}\theta} = \frac{(\Delta\theta)^2 (1+\rho)}{4\pi\rho^2 \cdot \Delta F_{\text{II}}} = \frac{20^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10^3} \approx 0,318 \cdot 10^{-4} \text{град}^2 / \Gamma_{\text{II}} ,$$

где
$$\Delta F_{\text{II}} = \frac{1}{T_{\text{H}}} + \Delta F_{\Phi} \approx 1 \text{ к}\Gamma\text{ц}.$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за блужданий энергетического центра излучений КРМ и ГРМ равна

$$S"_{_{\text{экв}\theta}} = \frac{\left(\Delta\theta_0\right)^2 R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{NC}} = \frac{1.7^2}{4 \cdot 3.14 \cdot 25} = 0.93 \cdot 10^{-2} \, \text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}}$$
.

$$\tau_{\phi \pi \theta}^2 = \frac{S_{_{9 \text{KB}} \theta}}{T_{_{\text{H}}}} = \frac{0.93 \cdot 10^{-2}}{0.02} \approx 0.05 \text{ град}^2.$$

Следовательно, $\tau_{\varphi_{\pi\theta}}^2 = 0,216 \text{ град}^2$, а линейное отклонение от линии курса (глиссады) на расстоянии 1 км от ВПП равно

$$\Delta l = \tau_{\phi_{\Pi}\theta} \cdot R_{\text{B\Pi\Pi}} = \frac{0.216 \cdot 10^3}{57.3} = 3.8 \text{ M}.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_19

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» — 0 или 1 или 2 балла: Радиовысотомер с импульсной модуляцией.

Правильный ответ:

Радиовысотомер с импульсной модуляцией предназначен для измерения больших высот и применяется преимущественно в военной авиации, в космонавтике, при аэрофотосъёмке и в других специальных пелях.

Принцип действия основан на определении времени прохождения радиосигнала от передающей антенны до отражающей поверхности и обратно, к приёмной антенне (основной принцип радиолокации).

При использовании импульсных сигналов обычными методами импульсной техники (с помощью аналоговых цепей либо цифровых счётчиков) измеряется интервал времени между импульсами передатчика и приёмника.

Например, радиовысотомер PB-18, работающий в импульсном режиме, позволяет измерять высоты до 30 000 м.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Методы оценки положения объекта. Латерация, ангуляция, гибридные методы. Основные источники погрешностей.

Оценка положения объекта — это задача определения положения и ориентации объекта или группы объектов в пространстве.

Существует несколько методов решения этой задачи:

- 1. Акустические методы. Используют ультразвуковые (высокочастотные) звуковые волны для измерения положения и ориентации объекта в пространстве.
- 2. Радиочастотные методы. Основаны на использовании радиочастотных идентификаторов (RFID).

- 3. Одометрия. Для оценки перемещения объекта в пространстве используются данные о движении приводов роботов. Распространённые методы одометрии: применение энкодеров, инерциальных измерительных устройств, визуальная одометрия, применение GPS или ГЛОНАСС.
- 4. Оптические методы. Для определения положения объекта в пространстве используется задача PnP (Perspective-n-Point), когда по перспективной проекции объекта на плоскость сенсора камеры нужно найти положение объекта в 3D-пространстве.

Латерация в радионавигации — это метод, в котором местоположение объекта определяется на основе оценки расстояний объекта до произвольного числа опорных радионавигационных точек, в которых размещены приёмники, способные принимать сигналы, излучаемые с борта объекта.

Ангуляция в радионавигации — это метод, в котором местоположение объекта находится с помощью вычисления углов прямых сигналов от нескольких точек доступа. Для этого метода требуется чёткая прямая видимость.

Гибридные методы в радионавигации — это методы, которые объединяют в себе элементы разных подходов для повышения точности оценки местоположения объекта. Например, в пассивной радиолокации для этого измеряют пространственные параметры принятых сигналов: разности расстояний от объекта до пунктов приёма, разности доплеровских сдвигов частот, угловые координаты объекта и другие.

К основным источникам ошибок при позиционировании относятся:

- 1. Неточность эфемерид спутников.
- 2. Ионосферные ошибки. Возникают из-за влияния плазменного состояния атмосферы на сигналы GPS.
- 3. Тропосферные ошибки. Связаны с изменением атмосферы ниже уровня ионосферы тропосферы.
- 4. Ошибки многолучевости. Возникают из-за отражений сигнала от поверхности земли или объектов в пределах видимости.
- 5. Ошибки часов приёмника. Связаны с временными огрехами в работе GPS-ориентированных устройств.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Расчет точностных характеристик автоматического радиокомплекса. Исходные данные: Диапазон частот - декаметровый: 150...1799,5 КГц. Ширина диаграммы направленности рамочной антенны: $\Delta\theta = \int_{\pi}^{\sin\theta} \alpha_{\theta} = \pi$ (180°). Площадь поперечного сечения рамочной антенны: Spa=0,7 M^2 ; Коэффициент усиления слабонаправленной антенны приводной радиостанции: G_0 =4; Дальность до приводной радиостанции: G_0 =300 км; Мощность приводной радиостанции: G_0 =0,8 Вт; Диапазон блуждания энергетического центра излучения приводной электростанции из-за «углового шума» тропосферного распространения радиоволн: $\Delta\theta$ =5°; Время обращения к приводной

радиостанции: T_H =200 мс; Шумовая температура: T(K)=300 K; Полоса флуктуаций сигнала: Δfc =20 Γ ц;

Правильный ответ:

Рассчитаем мощность принимаемого сигнала f от приводной радиостанции:

$$P_{\rm c} = \frac{P_0 \cdot G_0 \cdot S_{\rm pa}}{4\pi r_0^2} = \frac{0.8 \cdot 4 \cdot 0.7}{4 \cdot 3.14 \cdot (3 \cdot 10^5)^2} \approx 2 \cdot 10^{-12} \,\mathrm{Br}.$$

Спектральная плотность внутренних шумов приемника АРК будет равна $N_0 = k \cdot T(°K) \cdot K_{_{\rm III}} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 300 = 1{,}24 \cdot 10^{-18} \, {\rm Br/}\Gamma_{\rm II}\,,$

где k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Тогда отношение сигнал/шум будет соответствовать следующей величине:

$$\rho = P_{\rm c} \cdot \frac{T_{\rm H}}{N_0} = \frac{2 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{1,24 \cdot 10^{-18}} = 645,$$

где
$$T_{\text{И}} = \frac{1}{\Delta F_{\oplus}} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ c.}$$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за внутренних шумов равна

$$S'_{\text{экв}\theta} = \frac{(\Delta\theta_{\text{pa}})^2(1+\rho)}{4\pi\cdot\rho^2\cdot\Delta F_{\text{II}}} = \frac{180^2\cdot(1+645)}{4\cdot3,14\cdot645^2\cdot2,5\cdot10^3} = 1,6\cdot10^{-3} \text{ град}^2/\Gamma_{\text{II}},$$
 где $F_{\text{II}} = \Delta F_{\Phi} = 2,5\cdot10^3 \text{ }\Gamma_{\text{II}}.$

Эквивалентная спектральная плотность возмущающего воздействия из-за «угловых шумов» равна

$$S''_{\text{экв}\theta} = \frac{(\Delta\theta_{_0})^2 \cdot R^2}{4\pi \cdot \Delta F_{_{NC}}} = \frac{5^2 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 25} = 8 \cdot 10^{-2} \text{град}^2 / \Gamma_{\text{Ц}},$$
 где $R = \sqrt{2(\frac{\Delta\theta_{_0}}{\Delta\theta_{_{\mathrm{pa}}}}) + 1} \approx 1$, а $\Delta F_{_{NC}} = \frac{1}{T_{_{\mathrm{H}}}} + \Delta f_{_{\mathbf{C}}} = \frac{1}{0,2} + 20 = 25 \ \Gamma_{\mathrm{Ц}}.$

Таким образом, ошибка разовых измерений навигационного параметра для АРК равна

$$\tau_{\text{фл}\theta}^2 = \frac{S_{\text{ЭКВ}}}{T_{\text{H}}} = \frac{S'_{\text{ЭКВ}\theta} + S''_{\text{ЭКВ}\theta}}{T_{\text{H}}} = \frac{8,16 \cdot 10^{-2}}{200 \cdot 10^{-3}} = 0,408 \text{ град}^2.$$

$$\theta = 0,64^{\circ}.$$

Отсюда $\tau_{\phi n\theta} = 0,64^{\circ}$.

Критерии итоговой оценки за экзамен: «отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2. Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС _______ В.К. Кемайкин

Заведующий каф. РИС ______ С.Ф. Боев

«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Кафедра «Радиотехнические информационные системы»

Дисциплина «Радионавигационные системы»

Семестр 9

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_20

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Фазовый автоматический радиокомпас.

Правильный ответ:

Автоматический радиокомпас (АРК) — бортовой радиопеленгатор, предназначенный для навигации летательных аппаратов по сигналам наземных радиостанций путём непрерывного измерения курсового угла радиостанции (КУР).

Принцип работы: после настройки на несущую частоту радиостанции АРК без участия человека (оператора) непрерывно измеряет значение КУР. КУР отображается на стрелочном или цифровом индикаторе, а также может передаваться в бортовую навигационную систему.

Некоторые задачи, которые решает АРК:

- осуществление полёта ВС на радиостанцию или от неё в заданном направлении с визуальной индикацией КУР;
- определение пеленга на радиостанцию с использованием данных о текущем курсе ВС;
 - выполнение захода на посадку по системе посадки ОСП;
- определение местоположения ВС методом линий положения по двум радиомаякам, расположенным в точках с известными координатами;
 - прослушивание позывных приводных радиостанций.

Пример фазового автоматического радиокомпаса — APK-22. В нём реализован принцип переноса информации о направлении на пеленгуемую ПРС в параметр сигнала, подлежащего обработке. В результате сигнал на выходе КС будет модулирован по амплитуде и фазе, причём информация о КУР будет содержаться именно в законе фазовой модуляции (ФМ). По этой причине APK-22 называется радиокомпасом с внутренней фазовой модуляцией.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Радиовысотомер с импульсной модуляцией.

Правильный ответ:

Радиовысотомер с импульсной модуляцией предназначен для измерения больших высот и применяется преимущественно в военной авиации, в космонавтике, при аэрофотосъёмке и в других специальных целях.

Принцип действия основан на определении времени прохождения радиосигнала от передающей антенны до отражающей поверхности и обратно, к приёмной антенне (основной принцип радиолокации).

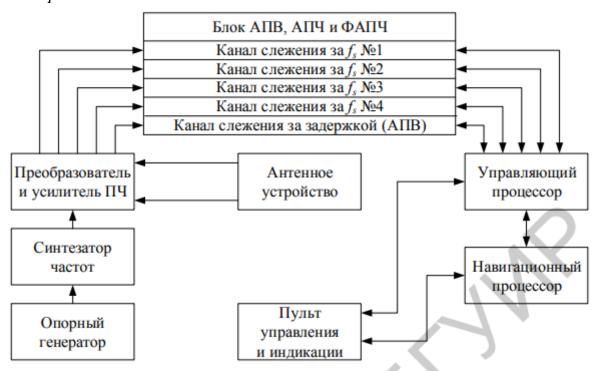
При использовании импульсных сигналов обычными методами импульсной техники (с помощью аналоговых цепей либо цифровых счётчиков) измеряется интервал времени между импульсами передатчика и приёмника.

Например, радиовысотомер PB-18, работающий в импульсном режиме, позволяет измерять высоты до 30 000 м.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Составить функциональную схему аппаратуры потребителя системы спутниковой навигации ГЛОНАСС. Исходные данные: - количество приемных каналов — четыре; - использовать открытый код дальномерного сигнала.

Правильный ответ:



Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6; «хорошо» - при сумме баллов 4; «удовлетворительно» - при сумме баллов 3; «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.т.н., доцент каф. РИС	В.К. Кемайкин
Заведующий каф. РИС	С.Ф. Боев

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

УТВЕРЖДАН	J	
Заведующий]	кафедрой
Радиотехниче	ские	
информацион	ные сис	стемы
	Боев С	С.Ф.
«»	20	Γ.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

промежуточной аттестации: курсовая работа «Радионавигационные системы»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны <u>в соответствие с рабочей программой дисциплины,</u> утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020г.

Разработчик: к.т.н., доцент, профессор каф. РИС ____ В.К. Кемайкин

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИПК-5.2. Проводит расчеты характеристик радиоэлектронных устройств, радиоэлектронных систем и комплексов.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций Знать:

- **31.1.** общие принципы построения и функционирования радионавигационных систем и комплексов;
- 31.2. сигналы и требования, предъявляемые к характеристикам сигналов, используемых в радионавигационные системы и комплексов;
- **31.3.** методы навигационных измерений; влияние внешних факторов, определяющих точность измерений.

Уметь:

У1.1. уметь применять методы определения местоположения с помощью радионавигационных систем и комплексов;

Таблица Оцениваемые показатели для проведения промежуточной

аттестации в форме курсовой работы

№ раздела	Наименование раздела	Баллы по шкале уровня
	Введение	Выше базового – 2
		Базовый – 1
		Ниже базового – 0
1	Основная часть	Выше базового –3
		Базовый – 2
		Ниже базового – 0
2	Расчетная часть	Выше базового – 3
		Базовый – 2
		Ниже базового – 0
	Заключение	Выше базового – 3
		Базовый – 2
		Ниже базового – 0
	Список использованных источников	Выше базового– 2
		Базовый – 1
		Ниже базового – 0

Критерии итоговой оценки за курсовую работу:

«отлично» – при сумме баллов от 9 до 13;

«хорошо» – при сумме баллов от 6 до 8;

«удовлетворительно» – при сумме баллов от 3 до 5;

«неудовлетворительно» – при сумме баллов менее 3, а также при любой другой сумме, если раздел «Расчётная часть» имеет 0 баллов.