

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт радиоэлектроники и информационной безопасности

РАСЧЕТ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ

Учебно-методическое пособие

по выполнению контрольных работ по дисциплинам
«Теория и техника радиолокации и радионавигации»
для студентов очно-заочной формы
направления 11.04.01— «Радиотехника»
«Радиоэлектронные системы извлечения информации»,
для студентов очно-заочной формы,
направления 11.04.02— «Инфокоммуникационные технологии
и системы связи»

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 621.396.96

Р е ц е н з е н т:

А. А. Савочкин – доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации»,
канд. техн. наук, доцент

Составители: А. Г. Лукьянчук, А.Л. Поляков

Расчет систем радиолокации и навигации: учеб.-метод. пособие по выполнению контрольных работ по дисциплинам «Теория и техника радиолокации и радионавигации» для студентов очно-заочной формы, направления 11.04.01 — «Радиотехника» и «Радиоэлектронные системы извлечения информации» для студентов очно-заочной формы, направления 11.04.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»/ Сост. А. Г. Лукьянчук, А. Л. Поляков.— Севастополь: СевГУ, 2018. — 12 с.

Предназначено для оказания помощи студентам в изучении теоретического материала дисциплины, выполнении контрольных работ и освоении методики расчета основных технических характеристик радиоэлектронных систем: зоны обзора, параметров обнаружения, энергетических характеристик и углубление знаний студентов о современных радиоэлектронных системах радиолокации и радионавигации.

УДК 621.396.96

Учебно-методические пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 7 от 31 января 2018 года.

Учебно-методические пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 3 от 21 февраля 2018 года.

Изд. № 64/18. Объем 0,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методическая разработка включает программу, методические указания и контрольные задания по дисциплинам «Теория и техника радиолокации и радионавигации (ТТРЛРН)» для студентов очно-заочной формы, направления 11.04.01 — «Радиотехника» и «Радиоэлектронные системы извлечения информации (РЭСИИ)» для студентов очно-заочной формы, направления 11.04.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Учебным планом указанных дисциплин предусмотрено изучение теоретического курса, выполнение лабораторных работ и практических занятий, а также подготовка контрольной работы (РГЗ), включающей два расчетных задания и ответы на два теоретических контрольных вопроса.

При изучении дисциплин ТТРЛРН и РЭСИИ студенты должны освоить принципы построения и функционирования конкретных видов радиоэлектронных систем, выполнить 5 лабораторных работ и подготовить контрольную работу, включающую два расчетных задания и ответы на два теоретических контрольных вопроса.

1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИН «ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ» и «РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ»

1.1. Физические основы радиолокации. Методы определения местоположения объектов в пространстве: дальномерный, угломерный, дальномерно-угломерный, разностно-дальномерный. Методы обзора пространства по угловым координатам, дальности и скорости. Поиск и обнаружение сигналов.

Уравнение дальности радиолокации для свободного пространства. Факторы, снижающие дальность действия в реальном пространстве. Принципы работы РЛС кругового обзора, её структура и временные диаграммы работы. Аналоговые и цифровые обнаружители.

Радиолокационные цели и характеристики отраженных радиолокационных сигналов. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) сосредоточенных и распределенных целей. Методы оценки ЭПР объектов.

[3] разделы 7,8,9; [4] раздел 6.

1.2. Методы и устройства измерения дальности. Точность и разрешающая способность при измерении дальности. Потенциальные ошибки измерения. Импульсный метод дальнометрии. Структурные схемы аналоговых и цифровых, следящих и несledящих измерителей дальности. Фазовый метод дальнометрии. Точность и разрешающая способность фазового метода. Частотный метод дальнометрии. Принцип построения частотных дальномеров. Импульсные и фазовые разностно-дальномерные радионавигационные системы

(РНС). Принципы исключения неоднозначности отсчета в РНС.

[3] разделы 13,15,16; [4] раздел 7.

1.3. Метод и устройства измерения радиальной скорости объектов.

Принципы построения непрерывных и когерентно-импульсных РЛС с малой и большой скважностью сигналов, с внешней и внутренней когерентностью. Точность и разрешающая способность систем измерения скорости. Системы селекции движущихся целей (СДЦ) с черезпериодной. Цифровая фильтрация в системе СДЦ. Доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса (ДИСС). Анализ точности измерения однолучевых и многолучевых ДИСС.

[3] разделы 12,17; [4] разделы 7,9.

1.4. Методы и устройства измерения угловых координат объектов.

Методы измерения угловых координат: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, частотный (доплеровский). Анализ точности и разрешающей способности угломерных методов. Следящие измерители угловых координат с коническим сканированием. Следящие моноимпульсные измерители угловых координат. Повышение угловой разрешающей способности методом бокового обзора. Синтезированный раскрыв при боковом обзоре.

[3] разделы 11,18; [4] раздел 8.

1.5. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Принципы построения СРНС первого и второго поколения. Орбиты навигационных искусственных спутников Земли и их применения в СРНС. Структура сигналов в СРНС первого и второго поколения (*GPS Navstar* и ГЛОНАСС). Принципы работы аппаратуры потребителей СРНС. Методы повышения точности определения координат. Дифференциальные СРНС.

[3] разделы 13,14; [12] раздел 3,5.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «Основы теории радиолокационных систем и комплексов»

Изучение теоретического материала дисциплины следует начать с повторения разделов дисциплин «Статистическая радиотехника» и «Основы теории радиоэлектронных систем» (обнаружение, разрешение, измерение параметров сигналов), потому что во всех видах РЛС решаются перечисленные задачи.

При изучении методов и устройств измерения дальности, скорости и угловых координат студент должен обратить внимание на то, что главные технические характеристики: точность измерения и разрешающая способность системы имеют два главных слагаемых (потенциальные и аппаратурные характеристики).

Первое слагаемое — это потенциальные характеристики, которые зависят от параметров сигнала и отношения сигнал-шум в системе. Потенциальные

точность и разрешающая способность определяются на основании статистической теории РЛС при условии, что метод и устройство обработки сигналов являются оптимальными.

Второе слагаемое характеризует точность или разрешающую способность выбранного метода обработки сигнала и конкретную аппаратную реализацию РЛС, потому что на практике из-за сложности и неидеальности характеристик реальной аппаратуры не удаётся, как правило, реализовать оптимальную обработку сигнала.

Студент должен чётко представлять себе факторы, приводящие к ухудшению потенциальных характеристик РЛС и методы их повышения.

Кроме того, следует знать: методы оценки мощности сигнала на входе приемника и дальности действия РТС; принципы работы, структурные схемы и технические характеристики систем, указанных в программе дисциплины и уметь провести сравнительный с позиций энергетических характеристик, точности, разрешающей способности различных методов радиолокации.

3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ДИСЦИПЛИНАМ ТТРЛРН и РЭСИИ включает два расчетных задания и ответы на два теоретических контрольных вопроса

3.1. Расчетное задание № 1

«Расчет параметров обзора радиолокационной системы»

Импульсная РЛС обнаружения воздушных целей должна производить последовательный обзор пространства до максимальной дальности $D_{\text{МАКС}}$, по углу места $\Phi_{\text{УМ}}$ и азимуту $\Phi_{\text{АЗ}}$ за период обзора $T_{\text{ОБЗ}}$. РЛС должна обеспечивать разрешающую способность по азимуту $\delta_{\text{АЗ}}$, по углу места $\delta_{\text{УМ}}$ и по дальности δ_D на длине волны λ .

Таблица 3.1 — Исходные данные для расчета задания № 1

Предпол. цифра ЗК	$T_{\text{ОБЗ}}$, с	δ_D , м	$\Phi_{\text{УМ}}$, град.	Последняя цифра ЗК	$\Phi_{\text{АЗ}}$, град.	$\delta_{\text{АЗ}}$, град.	$\delta_{\text{УМ}}$, град.	λ , мм	$D_{\text{МАКС}}$ км	Вид обзора
1	20	150	35	1	120	1,3	—	62	120	секторный
2	12	100	14	2	25	1,1	1,5	8	25	строчный
3	18	120	30	3	360	1,7	—	32	80	круговой
4	10	80	12	4	90	1,2	—	14	40	секторный
5	16	100	26	5	360	1,5	2,1	32	50	винтовой
6	8	70	15	6	30	1,1	—	32	90	секторный
7	14	90	22	7	35	1,6	1,3	14	30	строчный
8	22	160	28	8	360	1,2	—	62	110	круговой
9	12	80	18	9	60	1,4	—	8	25	секторный
0	6	60	8	0	360	1,8	1,8	32	70	винтовой

Требуется:

1) Рассчитать период, длительность и скважность зондирующих импульсов радиопередатчика РЛС.

2) Рассчитать ширину диаграммы направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, эффективную площадь и линейные размеры антенны; обосновать вид и конструктивные особенности антенны РЛС.

3) Рассчитать для заданного вида обзора угловую скорость поворота антенны, время облучения цели и количество накапливаемых импульсов в пачке. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Методические рекомендации по выполнению расчетного задания 1

Зоной обзора РЛС называют область пространства, в пределах которой принимаются и обнаруживаются сигналы целей. Зона обзора (рис. 3.1) характеризуется дальностью обнаружения целей $D_{\text{МАКС}}$ и секторами обзора по азимуту $\Phi_{\text{АЗ}}$ и углу места $\Phi_{\text{УМ}}$. Схематичное изображение зоны обзора РЛС приведено на рис. 3.1.

В большинстве обзорных РЛС используется последовательный обзор пространства, при котором луч антенны РЛС перемещается в пределах зоны обзора по определенному закону. Угловые размеры главного лепестка диаграммы направленности антенны по азимуту и углу места $\theta_{\text{АЗ}}$, $\theta_{\text{УМ}}$ (ширина луча) при последовательном обзоре меньше ширины зоны обзора $\Phi_{\text{АЗ}}$, $\Phi_{\text{УМ}}$ и определяется требуемой разрешающей способностью по угловым координатам.

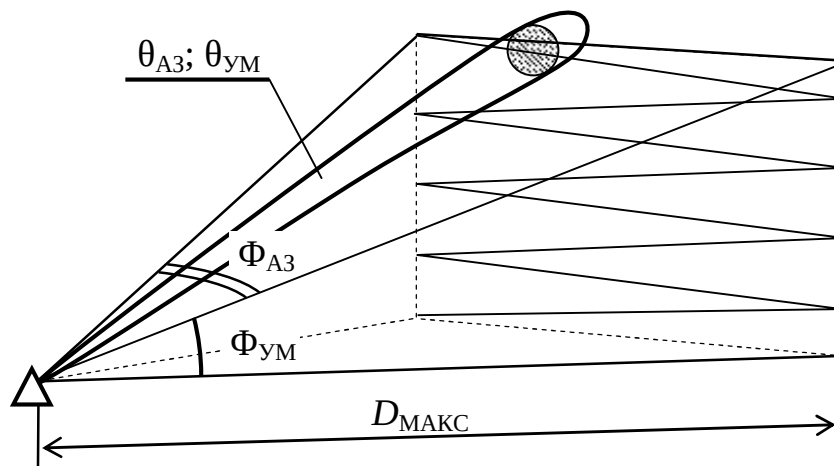


Рис. 3.1. Зона обзора РЛС

Время, за которое производится однократный просмотр всех участков зоны обзора, называется периодом обзора $T_{\text{ОБЗ}}$, а время, в течение которого при последовательном обзоре точечная неподвижная цель находится в луче РЛС и на вход приемника поступают сигналы, отраженные от цели, называется временем облучения цели $T_{\text{ОБЛ}}$. При проектировании РЛС желательно увеличивать время облучения, так как это позволяет улучшить отношение сигнал-шум за счет накопления энергии отраженных импульсов. Однако, для увеличения времени облучения требуется либо расширить диаграмму

направленности антенны (это ухудшает разрешающую способность по угловым координатам), либо снижать угловую скорость перемещения луча (это приводит к возрастанию периода обзора и является так же нежелательным).

Теоретически минимальный период последовательного обзора равен:

$$T_{\text{обз.мин}} = \frac{\Phi_{\text{АЗ}} \cdot \Phi_{\text{УМ}}}{\theta_{\text{АЗ}} \cdot \theta_{\text{УМ}}} T_{\text{обл}} \quad (3.1)$$

В реальных системах значение периода обзора больше, чем результат вычисления по формуле (3.1). Причинами этого являются: изменение времени облучения и скорости движения луча при возвратно-поступательном движении, увеличение реальной зоны обзора, выбор уменьшенного шага луча при строчном и спиральном обзоре и др. Формулы для расчета конкретных видов обзора можно найти в литературе [3,7,10,11].

Далее для выполнения расчетного задания 1 необходимо, используя заданную разрешающую способность по дальности δ_D , определить оптимальную длительность зондирующих импульсов $\tau_{\text{и}}$, а из условия однозначного измерения дальности — период $T_{\text{и}}$ их следования. Затем следует рассчитать ширину диаграммы направленности по азимуту и углу места $\theta_{\text{АЗ}}$, $\theta_{\text{УМ}}$, коэффициент усиления антенны $G_{\text{А}}$, эффективную площадь антенны $S_{\text{А}}$ и линейные размеры антенного устройства по азимуту $l_{\text{А АЗ}}$ и по углу места $l_{\text{А УМ}}$.

Ширины диаграммы направленности антенны $\theta_{\text{АЗ}}$ и $\theta_{\text{УМ}}$ должна обеспечивать разрешающую способность системы по азимуту и углу места. Для приближенных расчетов можно принять $\theta_{\text{АЗ}} \approx 60^\circ \lambda / l_{\text{А}}$. Следует учитывать, что при круговом и секторном обзоре пространства разрешающая способность по углу места не задается и ширину ДН по углу места $\theta_{\text{УМ}}$ следует выбирать равной ширине зоны обзора по углу места $\theta_{\text{УМ}} = \Phi_{\text{УМ}}$.

После этого необходимо определить при заданном периоде и виде обзора пространства время облучения цели $T_{\text{обл}}$, число накапливаемых импульсов в пачке

$$n = \frac{T_{\text{обл}}}{T_{\text{и}}} \quad (3.2)$$

и угловую скорость вращения антенны по азимуту и углу места, а также привести рисунок, поясняющий вид обзора пространства. Если в результате расчета будет получено менее 10 импульсов в пачке, то следует снизить требования задания по угловой разрешающей способности и повторить расчет.

Результаты расчетов следует представить в виде таблицы и сделать подробные выводы.

3.2. Расчетное задание № 2

«Расчет энергетических характеристик РЛС»

Импульсная радиолокационная станция должна обнаруживать в осадках интенсивностью I объекты с эффективной площадью рассеяния (ЭПР) от $\sigma_{\text{Эфф макс}}$ до $\sigma_{\text{Эфф мин}}$ в диапазоне дальностей от $D_{\text{макс}}$ до $D_{\text{мин}}$ с вероятностью

правильного обнаружения $P_{\text{по}}$ и вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$. Остальные технические характеристики РЛС заданы ранее или должны быть получены в результате расчета задания 1 (см. п. 3.1).

Требуется:

1. Рассчитать минимальную пороговую мощность сигнала на входе приемника РЛС, необходимую для обнаружения пачки радиоимпульсов с неизвестной начальной фазой и флуктуирующей амплитудой с заданными $P_{\text{по}}$ и $P_{\text{лт}}$.

2. Рассчитать импульсную и среднюю мощности передатчика, обеспечивающие работоспособность РЛС в свободном пространстве и в реальной атмосфере на максимальной дальности.

3. Построить зависимость изменения требуемой мощности передатчика от дальности до цели при различных ЭПР ($\sigma_{\text{ЭФФ МАКС}} \dots \sigma_{\text{ЭФФ МИН}}$).

4. Проанализировать полученные результаты и предложить пути снижения импульсной и средней мощностей передатчика.

Таблица 3.2 — Исходные данные для расчёта задания 2

Предпоследняя цифра ЗК	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{\text{лт}}$	0,12	0,06	0,09	0,07	0,12	0,08	0,05	0,11	0,07	0,04
$\sigma_{\text{ЭФФ МАКС}}, \text{м}^2$	70	35	80	22	30	60	20	50	22	45
$\sigma_{\text{ЭФФ МИН}}, \text{м}^2$	35	12	45	10	15	35	10	20	12	28
Последняя цифра ЗК	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D_{\text{мин}}, \text{км}$	30	5	18	7	10	20	6	25	8	35
$P_{\text{по}}$	0,91	0,95	0,92	0,96	0,94	0,92	0,95	0,89	0,96	0,91
$I, \text{мм/час}$	1	16	4	16	1	4	16	1	16	4

Методические рекомендации по выполнению расчетного задания 2

Для выполнения этого задания необходимо на первом этапе рассчитать пороговую минимальную мощность сигнала на входе радиоприемника $P_{\text{пр. мин}}$, при которой обеспечиваются заданные $P_{\text{по}}$ и $P_{\text{лт}}$,

$$P_{\text{пр. мин}} = k \cdot k_{\text{ш}} T_0 \Delta F k_p, \quad (3.3)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{град}$ — постоянная Больцмана.

Коэффициент шума $k_{\text{ш}}$ приемника РЛС среднего класса в диапазоне длин волн от 60 мм до 8 мм можно приблизительно выбрать от 3 (для $\lambda \approx 60 \text{ мм}$) до 6 (для $\lambda \approx 8 \text{ мм}$). Эффективная полоса пропускания ΔF РПУ должна быть согласована с шириной спектра сигнала $\Delta f_c \approx 1 / \tau_{\text{и}}$, а рабочая абсолютная температура T_0 неохлаждаемого РПУ составляет $290^\circ \dots 310^\circ \text{К}$.

Коэффициент различимости k_p характеризует требуемое отношение сигнал–шум и при обнаружении пачки импульсов с неизвестной фазой и флуктуирующей амплитудой может быть вычислен по формуле

$$k_P = \left[\frac{\ln m + \ln (1/P_{\text{ЛТ}})}{\ln (1/P_{\text{ПО}})} - 1 \right] \frac{\alpha_{\Sigma}}{n}, \quad (3.4)$$

где n — количество накапливаемых импульсов в пачке; m — число возможных положений отраженного сигнала по дальности, $m \approx 2D_{\text{МАКС}}/c\tau_{\text{И}}$.

Коэффициент потерь α_{Σ} может быть представлен произведением элементарных коэффициентов потерь $\alpha_{\Sigma} = \prod_{j=1}^k \alpha_j$, учитывающих потери, вызванные затуханием сигнала в антенне, фидере, несогласованностью АЧХ приемника со спектром сигнала, нестабильностью частоты гетеродина и другими причинами. Коэффициент потерь в зависимости от качества РПУ оставляет от 15 до 40.

При расчете k_P необходимо учитывать, что при большом числе накапливаемых импульсов в пачке n увеличиваются потери в детекторе и сумматоре $\alpha_{\text{ДЕТ}}$ (рис. 3.2), что приводит к дополнительному возрастанию общих потерь α_{Σ} .

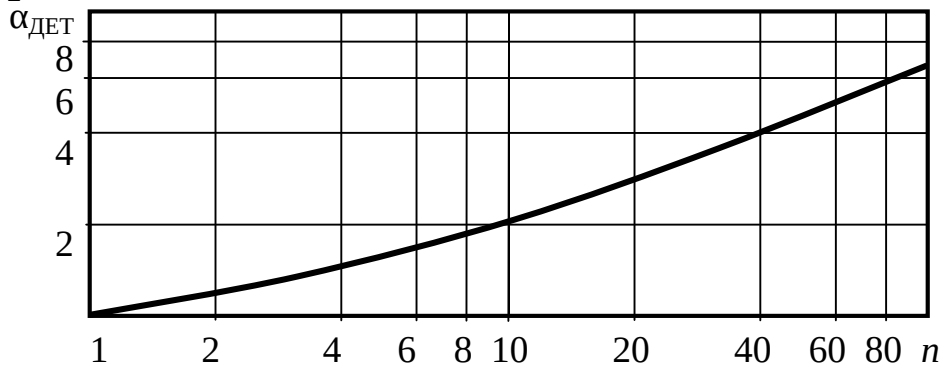


Рис. 3.2. Усредненная зависимость потерь в детекторе и сумматоре от количества накапливаемых импульсов n

Для вычисления мощности передатчика $P_{\text{И}}$, необходимой для обеспечения нормальной работы системы, используется основное уравнение дальности радиолокации для свободного пространства:

$$D_{\text{МАКС}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{И}} G_{\text{А}} S_{\text{А}} \sigma_{\text{ЭФФ}}}{16 \pi^2 P_{\text{ПР.МИН}}}}. \quad (3.5)$$

Затем следует определить требуемые импульсную и среднюю мощности передатчика с учетом поглощения энергии в осадках интенсивностью I , парах воды и кислороде воздуха. Таблицы и графики удельного поглощения энергии радиоволн в реальной атмосфере приведены в учебной литературе [5,6,7].

В заключение следует рассчитать и построить зависимости изменения требуемых импульсной и средней мощностей передатчика от дальности ($D_{\text{МАКС}} \dots D_{\text{МИН}}$) при обнаружении целей с двумя различными ЭПР ($\sigma_{\text{ЭФФ МИН}}$ и $\sigma_{\text{ЭФФ МАКС}}$).

Проанализировать полученные результаты и предложить пути снижения импульсной и средней мощностей передатчика системы. Сделать подробные выводы.

3.3. Первый теоретический вопрос (выбор по последней цифре ЗК)

1. Приведите структурные схемы и временные диаграммы, поясняющие импульсный и частотный методы измерения дальности. Сравните технические характеристики импульсной и частотной РЛС.
2. Приведите структурные схемы и временные диаграммы, поясняющие импульсный и фазовый методы измерения дальности. Сравните импульсные и фазовые радиодальномеры по точности, разрешающей способности, области применения.
3. Сравните достоинства и недостатки следящих и неследящих измерителей дальности. Опишите структурную схему и проанализируйте погрешности в системе автоматического сопровождения по дальности импульсной РЛС.
4. Опишите принцип действия, приведите структурные схемы, сравните достоинства, недостатки и области применения частотных и фазовых радиодальномеров.
5. Опишите амплитудные методы измерения угловых координат объектов. Дайте им сравнительную характеристику. Рассмотрите в качестве примера амплитудный моноимпульсный измеритель угловых координат.
6. Опишите фазовый метод измерения угловых координат объектов. Сравните достоинства и недостатки амплитудных и фазовых методов. Рассмотрите в качестве примера фазовый моноимпульсный измеритель угловых координат.
7. Опишите принцип работы суммарно-разностного моноимпульсного измерителя угловых координат объектов. Сравните достоинства и недостатки амплитудного, фазового и суммарно-разностного моноимпульсных методов.
8. Приведите структурную схему и принципы построения измерителя угловых координат с коническим сканированием. Сравните достоинства и недостатки следящих и неследящих измерителей угловых координат.
9. Рассмотрите принципы построения и структурную схему системы селекции движущихся целей (СДЦ) с внутренней когерентностью. Проанализируйте особенности систем СДЦ с малой и большой скважностью.
10. Опишите принципы построения однолучевых и многолучевых измерителей скорости и угла сноса (ДИСС). Дайте сравнительный анализ погрешностей и методы их уменьшения.

3.4. Второй теоретический вопрос (выбор по последней цифре ЗК)

1. Принцип работы импульсной разностно-дальномерной радионавигационной системы. Методы устранения многозначности и повышения точности импульсных РНС.
2. Принцип работы фазовой разностно-дальномерной радионавигационной системы. Методы устранения многозначности и повышения точности РНС.
3. Принцип работы и технические характеристики СРНС первого поколения. Орбиты навигационных НИСЗ первого поколения.
4. Принцип работы и технические характеристики СРНС второго поколения. Орбиты навигационных НИСЗ второго поколения.
5. Структура СРНС и принципы взаимодействия космического и наземного сегментов с аппаратурой потребителей СРНС.
6. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Состав и характеристики космического сегмента СРНС «Глонас» и GPS «Navstar».
7. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Состав наземного и потребительского сегмента СРНС «Глонас» и GPS «Navstar».
8. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Виды информации и состав сигналов передаваемых в СРНС и принципы их формирования.
9. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Принципы обработки сигналов в навигационных приемниках.
10. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Методы повышения точности в дифференциальных СРНС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Радиолокационные системы [Электронный ресурс]: учебник / В.П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В.П. Бердышева. — Красноярск: СФУ, 2012. — 402 с.
2. Горохов А.Х. Основы радиолокации и элементы РЛС: учеб. пособие / А.Х. Горохов, Н.Л. Кашпур. — Самара: Самарский гос. техн. университет 2014. — 247 с.
3. Радиотехнические системы: учебник для вузов по спец. "Радиотехника" / Под ред. О.М. Казаринова. — М.: Высш. шк., 1990. — 496 с.
4. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: учеб. пособие для вузов. — Мн.: Выш.шк., 1988. — 369 с.
5. Радиотехнические системы: учебник для вузов / Под ред. А.И. Дымовой. — М.: Сов. радио, 1975. — 440 с.
6. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: учебник для вузов. — М.: Радио и связь. 1983. — 536 с.

Дополнительная литература

7. Васин В.В., Степанов В.М. Справочник-задачник по радиолокации / В.В. Васин, В.М. Степанов. — М.: Сов. радио, 1977. — 320 с.
8. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника (в 4-х томах). — М.: Сов. радио, 1978.
9. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / Под ред. В.В. Григорина-Рябова. — М.: Сов. радио, 1970. — 680 с.
10. Лукьянчук А.Г. Основы проектирования радиоэлектронных систем: метод. указания к курсовому проектированию – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 60 с.
11. Расчет характеристик радиоэлектронных систем: метод. указания к практическим занятиям по 2 части дисциплины "Радиоэлектронные системы" для студентов дневной формы обучения специальности "Радиотехника"/ Разраб. А.Г. Лукьянчук. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. — 22 с.
12. Лукьянчук А.Г. Работа в системах спутниковой радионавигации: учеб. пособие / А.Г. Лукьянчук, Ю.П. Михайлюк. — Севастополь: Изд. СевНТУ, 2007. — 190 с.