

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям по 2 части
дисциплины "Радиоэлектронные системы"
для студентов дневной формы обучения
специальности "Радиотехника"

Севастополь
2009

УДК 621.369.9

Расчет характеристик радиоэлектронных систем: Методические 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.

Целью методических указаний является углубление знаний студентов о современных радиоэлектронных системах, освоение методики расчета основных технических характеристик радиолокационных станций: зоны обзора, параметров обнаружения, точности, разрешающей способности, энергетических характеристик.

Методические указания предназначены для студентов пятого курса радиотехнических специальностей дневной формы обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № от 2009 года)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Михайлюк Ю.П. канд. техн. наук, доцент кафедры радиотехники и телекоммуникаций СевНТУ.

Ответственный за выпуск: Гимпилевич Ю.Б., доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой радиотехники и телекоммуникаций.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Расчет параметров зоны обзора РЛС.....	4
2. Расчет параметров обнаружения радиосигналов	6
3. Расчет разрешающей способности РЛС	7
4. Расчет погрешностей измерения координат объектов	8
5. Расчет эффективной площади рассеяния объектов	9
6. Расчет энергетических характеристик РЛС.....	10
Библиографический список.....	12

ВВЕДЕНИЕ

Программой дисциплины "Радиотехнические системы" наряду с изучением большого объема теоретического материала предусмотрено овладение студентами методикой расчета, анализа и синтеза радиоэлектронных систем (РЭС) при курсовом проектировании и выполнении расчетно-практических заданий (РПЗ). На практических занятиях студенты должны ознакомиться с методикой расчёта зоны действия радиолокационной станции (РЛС), разрешающей способности и точности, определения параметров оптимальных и квазиоптимальных приемников радиосигналов на фоне помех, а также с расчётом энергетических характеристик РЛС с учётом влияния метеорологических условий, переотражений от подстилающей земной поверхности и неоднородностей атмосферы.

Отчет по каждому РПЗ должен содержать исходные данные, методику расчёта, используемые математические выражения и результаты. В конце отчета должны быть сделаны выводы и рекомендации по практическому применению полученных результатов.

Использование для выполнения каждого текущего РПЗ результатов всех предыдущих расчетов позволит студенту при условии последовательного выполнения всех заданий получить типовую методику расчёта основных технических характеристик импульсной некогерентной радиолокационной станции (РЛС). После выполнения всех заданий студент должен составить итоговую таблицу технических параметров разработанной РЛС и сделать подробные выводы о путях технической реализации рассчитанной системы.

Все РПЗ целесообразно выполнять в одной тетради (12 листов). Выбор варианта задания производится по последней и предпоследней цифре номера зачётной книжки.

1. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

"Расчёт параметров зоны обзора радиотехнических систем"

Индивидуальное задание.

Рассчитать период, длительность и скважность зондирующих импульсов РЛС, время облучения цели, число накапливаемых импульсов в пачке, угловую скорость вращения антенны, вид и параметры антенного устройства.

РЛС, параметры которой заданы в таблицах 1а и 1б, должна обеспечивать обнаружение объектов в зоне обзора с максимальной дальностью $D_{\text{МАКС}}$ и минимальной дальностью действия $D_{\text{МИН}}$. Угловые размеры зоны обзора по азимуту – $\Phi_{\text{АЗ}}$, а по углу места – $\Phi_{\text{УМ}}$. Рабочая длина волны – λ . Антенна РЛС должна иметь линейные размеры, не превышающие по азимуту – $l_{\text{АЗ}}$, а по углу места – $l_{\text{УМ}}$ и иметь заданное амплитудное распределение поля в раскрыве.

Методические указания.

Для выполнения задания 1 сначала необходимо из условия однозначного определения дальности $D_{\text{МАКС}}$ вычислить период послышки зондирующих импульсов, а из условия уменьшения «мертвой зоны» $D_{\text{МИН}}$ – максимальную их длительность. Следует учитывать, что на начальном этапе производится предварительная оценка длительности зондирующего сигнала, так как основными характеристиками РЛС, на которые влияет выбор длительности импульса, являются точность измерения дальности и разрешающая способность по дальности, которые будут подробно анализироваться при выполнении расчетно-практических заданий 3 и 4.

Затем в соответствии с заданными максимальными линейными размерами антенны $l_{\text{АЗ}}$ и $l_{\text{УМ}}$, а также с заданным амплитудным распределением поля в раскрыве антенны (Приложение А2) следует определить ширину диаграммы направленности (ДН) на уровне половинной мощности, эффективную площадь антенны, коэффициент усиления и коэффициент направленного действия (КНД) антенного устройства.

На следующем этапе необходимо изобразить рисунок, иллюстрирующий заданный вид обзора пространства. Затем следует оценить число витков (строк) обзора, вычислить угловую скорость перемещения антенны в азимутальной и угломестной плоскостях, время облучения цели и количество отраженных импульсов, накапливаемых в пачке за время облучения объекта (приложение А1).

Для достаточной достоверности обнаружения необходимо обеспечить накопление за время облучения цели не менее 7...10 отражённых импульсов. Если время облучения в результате расчета получилось недостаточным и число накапливаемых импульсов меньше указанного количества, допускается незначительно увеличить ширину ДН по азимуту и углу места за счёт уменьшения размеров антенны. При этом необходимо учитывать, что ширина ДН антенны определяет разрешающую способность и погрешность измерения угловых координат, которые будут рассчитываться в последующих заданиях 3 и 4.

Увеличивать период обзора и производить корректировку других пунктов задания не допускается.

По итогам расчета следует предложить конструктивное исполнение антенного устройства с учетом размеров раскрыва, вида обзора пространства и скорости поворота ДН; составить таблицу полученных параметров и сделать подробные выводы.

Таблица 1а – Индивидуальные исходные данные для расчета первого задания

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	$l_{\text{АЗ}},$ м	$l_{\text{УМ}},$ м	Распределение поля в раскрыве антенны	$T_{\text{ОБЗ}},$ с
0	1,8	0,3	$F(2x/l) = 1$	9
1	3,1	1,1	$F(2x/l) = 1 - (2x/l)$	10
2	2,1	0,4	$F(2x/l) = \cos(\pi x/l)$	7
3	3,3	0,6	$F(2x/l) = 1 - 0,2(2x/l)^2$	6
4	1,5	1,5	$F(2x/l) = \cos^2(\pi x/l)$	5
5	3,0	0,7	$F(2x/l) = 1 - (2x/l)^2$	8
6	2,3	1,1	$F(2x/l) = \cos^3(\pi x/l)$	9
7	3,1	2,0	$F(2x/l) = 1 - 0,5(2x/l)^2$	6
8	2,9	1,0	$F(2x/l) = \cos^4(\pi x/l)$	7
9	1,5	1,2	$F(2x/l) = [1 - (2x/l)^2]^2$	10

Таблица 1б – Индивидуальные исходные данные для расчета первого задания

Последняя цифра номера зачетной книжки	$\lambda,$ мм	$D_{\text{МИН}},$ м	$D_{\text{МАКС}},$ км	$\Phi_{\text{АЗ}},$ град	$\Phi_{\text{УМ}},$ град	Вид обзора
0	29	150	60	360°	40°	Круговой
1	31	170	50	90°	30°	Секторный
2	8,4	70	20	360°	20°	Винтовой
3	4,1	50	15	30°	40°	Строчный
4	32	100	42	360°	30°	Круговой
5	16	180	60	120°	25°	Секторный
6	8,6	90	20	360°	30°	Винтовой
7	16	170	26	50°	25°	Строчный
8	30	160	82	60°	20°	Круговой
9	56	200	95	110°	30°	Секторный

2. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

"Расчет параметров обнаружения радиосигналов"

Индивидуальное задание.

Для радиоприёмника РЛС, параметры которого заданы в таблице 2, определить пороговую мощность, достаточную для обнаружения импульсного сигнала с заданными вероятностями ложной тревоги $P_{ЛТ}$ и правильного обнаружения $P_{ПО}$.

При расчёте необходимо учесть: период накопления сигналов $T_{НАК}$, потери из-за неидеальности антенно-фидерного тракта, устройств накопления и обработки сигналов, за счёт рассогласования спектра сигнала и АЧХ фильтров, конструктивные особенности обнаружителя. Расчёт пороговой мощности должен быть произведён для следующих моделей сигналов:

- сигнала с полностью известными параметрами;
- сигнала с неизвестной начальной фазой;
- сигнала с неизвестной начальной фазой и флуктуирующей амплитудой.

Методические указания.

Для выполнения второго расчётного задания необходимо, прежде всего, по заданным значениям вероятностей $P_{ЛТ}$ и $P_{ПО}$ рассчитать требуемые значения параметра обнаружения q и коэффициента различимости k_r для всех трёх моделей сигнала (Приложение Б1). Количество импульсов в пачке при этом определяется по результатам расчета первого задания.

Таблица 2 – Исходные данные для расчёта второго задания

Предпол. цифра ЗК	$P_{ЛТ}$	Вид входного устройства	Послед. цифра ЗК	$P_{ПО}$	Форма импульса	Фильтр приемника	$T_{НАК}$
0	$1 \cdot 10^{-2}$	Балансный смеситель	0	0,94	Прямо- угольный	Пять контуров	20
1	$7 \cdot 10^{-2}$	Усилитель на ЛБВ	1	0,91	Гауссов	Гауссов	15
2	$8 \cdot 10^{-3}$	Усилит. на туннел. диоде	2	0,92	Прямо- угольный	Два контура	7
3	$3 \cdot 10^{-2}$	Балансный смеситель	3	0,96	Прямо- угольный	Прямо- угольный	18
4	$9 \cdot 10^{-3}$	Усилитель на ЛБВ	4	0,95	Гауссов	Гауссов	25
5	$3 \cdot 10^{-3}$	Усилитель на туннел. диоде	5	0,90	Прямо- угольный	Два контура	10
6	$1 \cdot 10^{-3}$	Балансный смеситель	6	0,93	Прямо- угольный	Одиночн. контур	12
7	$5 \cdot 10^{-3}$	Усилитель на ЛБВ	7	0,96	Гауссов	Гауссов	15
8	$4 \cdot 10^{-3}$	Усилитель на туннел. диоде	8	0,91	Прямо- угольный	Пять контуров	10
9	$6 \cdot 10^{-2}$	Балансный смеситель	9	0,95	Прямо- угольный	Гауссов	9

После этого следует рассчитать мощность шума приемника с учётом вида входного устройства и требуемой ширины полосы пропускания приемника.

Далее необходимо произвести оценку суммарных потерь при обработке сигнала, обусловленных потерями в антенне, в волноводном тракте, из-за расстройки приёмника, потерями в детекторе, фильтрах и видеоусилителе, а также ошибками оператора (Приложение Б2). Используя результаты предыдущих вычислений рассчитать пороговую мощность сигнала на входе приёмника, при которой обеспечиваются заданные вероятности обнаружения $P_{\text{ЛТ}}$ и $P_{\text{ПО}}$.

При расчёте параметра q необходимо учесть, что если время накопления $T_{\text{НАК}}$ в выходном устройстве РЛС превышает период обзора $T_{\text{ОБЗ}}$, то это приводит к увеличению числа накапливаемых пачек и улучшению отношения сигнал-шум.

Сравнить результаты, полученные для трех разных моделей сигналов, и сделать подробные выводы по результатам расчета.

3. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

"Расчет разрешающей способности радиотехнических систем"

Индивидуальное задание

Определить для РЛС, параметры которой рассчитаны в предыдущих заданиях, потенциальную и реальную разрешающие способности по дальности, угловому положению и скорости объекта при аналоговом и цифровом измерении координат.

Сравнить полученные результаты с требуемыми значениями (см. таблицу 3) результирующей разрешающей способности по дальности – δ_D и по азимуту – $\delta_{\text{Аз}}$. Предложить пути обеспечения требуемых значений разрешающей способности.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета 3 задания

Последняя цифра ЗК	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_{\text{Э}}$, мм	100	400	220	300	140	190	200	340	120	360
$d_{\text{П}}$, мм	0,2	0,9	0,4	0,6	0,3	0,4	0,4	0,6	0,2	0,7
δ_D , м	100	180	120	80	110	220	280	200	90	250
$\delta_{\text{Аз}}$, град	1,0°	0,9°	1,2°	0,7°	1,0°	1,4°	1,5°	1,1°	1,0°	1,6°

Методические указания

Для выполнения задания 3 необходимо, во-первых, используя результаты расчетов первого задания определить потенциальные разрешающие способности по дальности, азимуту, углу места и скорости (Приложение В). Если для разрабатываемой РЛС задан строчный или винтовой обзор пространства, то необходимо оценивать разрешающую способность и по азимуту, и по углу места. Для кругового или секторного обзора достаточно определить только разрешение по азимуту.

Оценка потенциальной разрешающей способности по скорости должна быть проведена для сигналов в виде одиночного импульса и для пачки импульсов.

Затем необходимо рассчитать разрешающую способность РЛС, обусловленную выбором вида индикаторного устройства. В качестве аналогового индикатора дальности и угловых координат следует использовать ЭЛТ с диаметром экрана $d_{\text{Э}}$ и диаметром пятна $d_{\text{П}}$. На этом этапе необходимо выполнить рисунок внешнего вида экрана индикатора и оценить по рисунку вид и масштаб развертки по каждой координате. Если в РЛС оцениваются три координаты (дальность, азимут, угол места), то для их индикации следует использовать две ЭЛТ.

Для улучшения разрешающей способности по дальности следует использовать двухшкальный метод, увеличив скорость развертки в два (четыре) раза. Разрешающую способность по угловым координатам индикатора с радиально-круговой разверткой необходимо рассчитывать на 10%, 50% и 100% дальностях и для её улучшения следует также применять многошкальный метод. Сравнить результаты проведенных расчетов.

Оценку разрешающей способности индикатора по скорости можно не производить, так как большинство обзорных РЛС являются некогерентными и не способны разрешать цели по скорости.

При цифровом измерении координат следует рассчитать частоту генератора счетных импульсов, обеспечивающую такую же разрешающую способность по дальности и угловым координатам, как при аналоговом измерении.

На завершающем этапе следует рассчитать результирующую (реальную) разрешающую способность РЛС по дальности и угловым координатам, сравнить полученные результаты с требуемыми параметрами, заданными в таблице 3 (δ_D и $\delta_{\text{АЗ}}$), и, в случае, если требуемые параметры не обеспечены, предложить пути улучшения разрешающей способности системы.

По результатам расчетов сделать подробные выводы.

4. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4 **"Расчет точности измерения координат объектов"**

Индивидуальное задание.

Рассчитать потенциальные среднеквадратические ошибки измерения дальности σ_D , и угловых координат $\sigma_{\text{АЗ}}$, $\sigma_{\text{УМ}}$ объектов. На основании анализа и расчета ошибок, обусловленных условиями распространения и видом индикаторного устройства, вычислить результирующие (реальные) среднеквадратические и систематические ошибки измерения координат (Приложения Г1 и Г2).

Методические указания.

Для выполнения этого задания необходимо прежде всего, используя полученные в предыдущих расчетах значения длительности зондирующего импульса, длительности пачки отраженных импульсов и отношения сигнал-шум, рассчитать потенциальные ошибки измерения. Следует обратить внимание, что при расчете потенциальных погрешностей следует использовать параметр обнаружения q_0 для сигнала с полностью известными параметрами (Приложение Г1).

Для оценки ошибок, связанных с условиями распространения радиоволн необходимо проанализировать зону обзора РЛС и определить длину пути распространения в среде с тропосферными неоднородностями, а так же возможные углы нахождения цели (Приложение Г2).

Оценивая влияние вида индикатора на погрешности измерения дальности и угловых координат необходимо вычислить ошибки при использовании механической шкалы ЭЛТ, электронной шкалы, электронного визира, а также при цифровом измерительном устройстве. Сравнить результаты расчета. Для повышения точности измерения аналоговых индикаторов на ЭЛТ целесообразно применять многошкальные методы индикации, использованные в предыдущем задании.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета 4 задания

Последняя цифра ЗК	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
σ_D , м	60	80	70	30	45	100	75	110	50	90
σ_{AZ} , град	0,9°	0,7°	1,0°	0,6°	1,0°	1,3°	1,2°	1,0°	0,9°	1,4°
σ_{UM} , град			2,0°	1,0°			1,6°	1,2°		

На завершающем этапе следует рассчитать результирующие (реальные) среднеквадратические ошибки измерения дальности и угловых координат, сравнить полученные результаты с заданными таблицей 4, и сделать подробные выводы о путях повышения точности определения местоположения объектов в РЛС.

5. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

"Определение эффективной площади рассеяния объектов"

Индивидуальное задание.

Рассчитать эффективную площадь рассеяния (ЭПР) пассивного радиолокационного маяка (углового отражателя), а также ЭПР поверхностно-распределенных и объемно-распределенных целей. Сравнить результаты расчетов со значениями ЭПР реальных объектов.

Методические указания.

Для выполнения этого задания на первом этапе необходимо рассчитать ЭПР пассивного маяка (углового отражателя с квадратными или треугольными гранями). Характеристический размер грани углового отражателя a указан в таблице 5, рабочая длина волны РЛС – в таблице 1.

Затем следует вычислить размеры элементов поверхностного и объемного разрешения РЛС (см. Приложение Д1 и Д2) на максимальной дальности по полученной при предыдущих расчетах ширине ДН антенны. Наклон ДН к земной поверхности следует принять β . В соответствии с исходными данными таблицы 5 определить ЭПР заданного вида подстилающей земной поверхности и полосы дождя интенсивностью I . Сравнить результаты расчета со значениями ЭПР для реальных объектов.

Построить и проанализировать зависимость ЭПР распределенных целей от дальности. Сделать подробные выводы о возможности обнаружения радиомаяка и реальных целей на фоне подстилающей земной поверхности или полосы дождя.

Предложить методы улучшения условий обнаружения сосредоточенных целей на фоне распределенных пассивных помех.

Таблица 5 – Исходные данные для расчета 5 задания

Предпол. цифра ЗК	Вид радиомаяка	Вид поверхности	Последняя цифра ЗК	α , м	β , град	I , мм/час
0	Угловой отражатель с квадратными гранями	Лес	0	0,3	10	16
1	Угловой отражатель с треугольными гранями	Море	1	0,8	7	4
2	Угловой отражатель с квадратными гранями	Гравий	2	0,2	9	28
3	Угловой отражатель с треугольными гранями	Бетон	3	0,6	11	20
4	Угловой отражатель с квадратными гранями	Море	4	0,3	4	10
5	Угловой отражатель с треугольными гранями	Пашня	5	1,0	12	28
6	Угловой отражатель с квадратными гранями	Песок	6	0,4	5	4
7	Угловой отражатель с треугольными гранями	Море	7	0,7	6	16
8	Угловой отражатель с квадратными гранями	Гравий	8	0,2	9	20
9	Угловой отражатель с треугольными гранями	Лес	9	0,8	8	10

6. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

"Расчет энергетических характеристик радиосистем"

Индивидуальное задание.

Рассчитать мощность передатчика, необходимую для обнаружения и измерения координат объектов с помощью РЛС, технические характеристики которой рассчитаны при выполнении предыдущих заданий. При расчете необходимо учесть влияние поглощения энергии радиоволн в реальной тропосфере..

Методические указания.

Для выполнения задания необходимо, подставляя в основное уравнение дальности радиолокации результаты предыдущих расчетов, вычислить сначала

мощность передатчика, необходимую для работы в свободном пространстве без учета коэффициента поглощения в осадках (Приложение Е).

В качестве цели, которая должна быть обнаружена на максимальной дальности, следует выбрать уголкового отражателя, параметры которого рассчитаны в расчетно-практическом задании 5.

Затем следует рассчитать коэффициент потерь и требуемую импульсную и среднюю мощности передатчика с учетом поглощения в осадках интенсивностью I , тумане видимостью M , парах воды и кислороде воздуха. Индивидуальные исходные данные для этого расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Исходные данные для расчета 6 задания

Последняя цифра ЗК	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I , мм/час	4	16	4	0,2	1	4	16	4	1,0	4
Предпоследняя цифра ЗК	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M , м	600	300	200	100	600	300	200	100	600	300

Поглощение в парах воды и кислороде следует учитывать по всей дальности действия, а в осадках – с учетом их пространственной неравномерности. Пространственный размер ячейки дождя интенсивностью 28 мм/час не превышает обычно 15 км, 16 мм/час – 30 км, 4мм/час – 60 км, а при меньших интенсивностях достигает 150...300 км.

Следует также рассчитать дальность обнаружения одиночной малоразмерной цели (самолет, катер) с эффективной площадью рассеяния 10...20 м².

Дополнительно следует вычислить требуемую высоту установки антенны РЛС для обнаружения цели на высоте 1 км на максимальной дальности, а также оценить ширину лепестков ДН, наличие которых обусловлено влиянием переотражений от подстилающей поверхности.

Проанализировать полученные результаты и предложить пути снижения импульсной и средней мощности передатчика.

В заключение выполнения комплекса расчетных заданий необходимо составить итоговую таблицу технических параметров рассчитанной РЛС и сделать выводы о возможных путях её технической реализации и совершенствования.

ПРИЛОЖЕНИЕ А1

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ОБЗОРА РТС

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА

Размеры зоны обзора по дальности определяются максимальной и минимальной дальностью действия системы.

Размеры зоны обзора по угловым координатам определяются шириной зоны обзора по азимуту $\Phi_{АЗ}$ и углом места $\Phi_{АЗ}$.

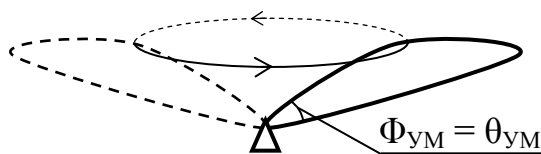
Период обзора $T_{ОБЗ}$ – временной интервал, в течение которого производится просмотр всех участков зоны обзора.

Время облучения $T_{ОБЛ}$ – временной интервал, в течение которого при последовательном обзоре неподвижный сосредоточенный объект находится в зоне диаграммы направленности антенны и на вход приемника РЛС поступают отраженные от объекта сигналы.

Количество отраженных импульсов N_C , принимаемых РЛС в течение времени облучения $T_{ОБЛ}$ (т.е. в пачке), не должно быть менее 7...10.

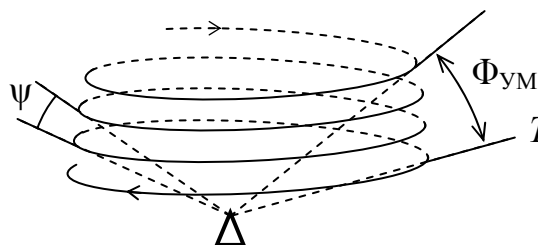
$$\theta_{0,5} \approx 60^\circ \frac{\lambda}{l_A}; \quad T_{ОБЗ.МИН} = \frac{\Phi_{АЗ} \cdot \Phi_{УМ}}{\theta_{АЗ} \cdot \theta_{УМ}} T_{ОБЛ}; \quad n = \frac{T_{ОБЛ}}{T_{И}}.$$

КРУГОВОЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



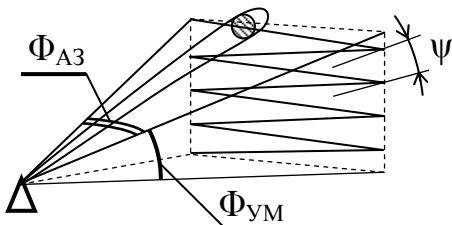
$$T_{ОБЗ} = \frac{360^\circ}{\theta_{АЗ}} T_{ОБЛ} = \frac{360^\circ}{\Omega_{АЗ}}; \quad T_{ОБЛ} = \frac{\theta_{АЗ}}{\Omega_{АЗ}}.$$

ВИНТОВОЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



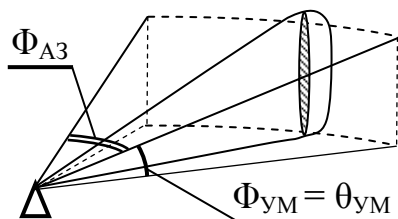
$$T_{ОБЗ} = \frac{360^\circ (\Phi_{УМ} - \theta_{УМ})}{\Omega_{АЗ} \cdot \psi}; \quad \psi = (0,5...0,8) \theta_{УМ}.$$

СТРОЧНЫЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



$$T_{ОБЗ} = \frac{\Phi_{АЗ} (\Phi_{УМ} - \theta_{УМ})}{\Omega_{АЗ.СР} \cdot \psi}; \quad T_{ОБЛ} = \frac{\theta_{АЗ}}{\Omega_{АЗ.СР}}.$$

СЕКТОРНЫЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



$$T_{ОБЗ} = \frac{\Phi_{АЗ}}{\theta_{АЗ}} T_{ОБЛ} = \frac{\Phi_{АЗ}}{\Omega_{АЗ.СР}}; \quad T_{ОБЛ} = \frac{\theta_{АЗ}}{\Omega_{АЗ.СР}}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ А2

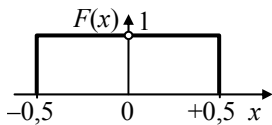
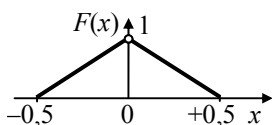
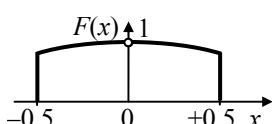
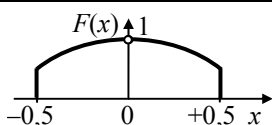
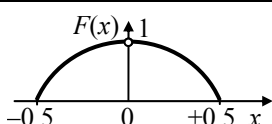
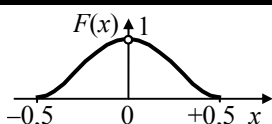
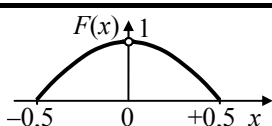
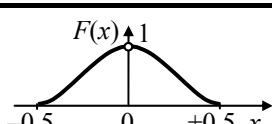
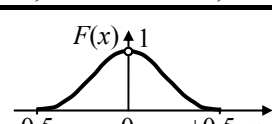
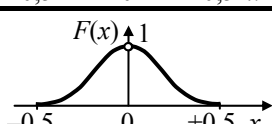
ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ РАСКРЫВОМ

Площадь раскрыва антенны $S_P = l_{AZ} \cdot l_{UM}$;

Эффективная площадь антенны S_A ;

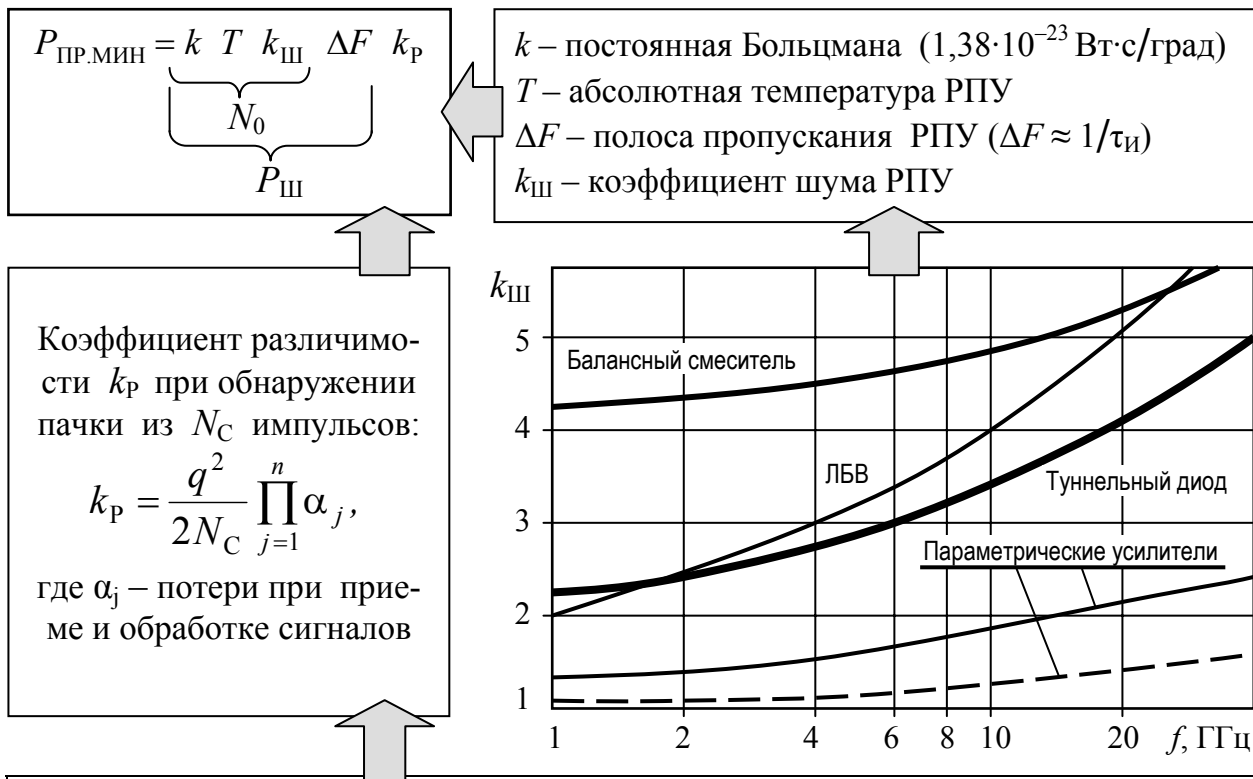
Коэффициент использования площади раскрыва антенны $K_{ИП} = S_A / S_P$;

Уровень боковых лепестков $\xi_{БОК}$.

Амплитудное распределение поля $F(x)$ в прямоугольном раскрыве антенны размером l	$\theta_{0,5}$, град	$\xi_{\text{БОК}}$, дБ	$K_{\text{ИП}}$	
	$F(x) = 1$	$50,8 \frac{\lambda}{l}$	- 13,2	1,0
	$F(x) = 1 - \left \frac{2x}{l} \right $	$73,4 \frac{\lambda}{l}$	- 26,4	0,75
	$F(x) = 1 - 0,2 \left(\frac{2x}{l} \right)^2$	$52,7 \frac{\lambda}{l}$	- 15,8	0,99
	$F(x) = 1 - 0,5 \left(\frac{2x}{l} \right)^2$	$55,6 \frac{\lambda}{l}$	- 17,1	0,97
	$F(x) = 1 - \left(\frac{2x}{l} \right)^2$	$65,9 \frac{\lambda}{l}$	- 20,6	0,83
	$F(x) = \left[1 - \left(\frac{2x}{l} \right)^2 \right]^2$	$77,9 \frac{\lambda}{l}$	- 28,6	0,68
	$F(x) = \cos \frac{\pi x}{l}$	$68,8 \frac{\lambda}{l}$	- 23,0	0,81
	$F(x) = \cos^2 \frac{\pi x}{l}$	$83,2 \frac{\lambda}{l}$	- 32	0,66
	$F(x) = \cos^3 \frac{\pi x}{l}$	$95,1 \frac{\lambda}{l}$	- 40	0,57
	$F(x) = \cos^4 \frac{\pi x}{l}$	$110,6 \frac{\lambda}{l}$	- 48	0,51

ПРИЛОЖЕНИЕ Б1

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛА
НА ВХОДЕ ПРИЕМНИКА, ДОСТАТОЧНОЙ ДЛЯ ЕГО ОБНАРУЖЕНИЯРАСЧЕТ ПАРАМЕТРА ОБНАРУЖЕНИЯ $q^2 = 2E_c/N_0$

Для сигнала с полностью известными параметрами (СИП)	$q_{\text{СИП}}^2 = 2 \left(\sqrt{\ln m + \ln \frac{1}{P_{\text{ЛТ}}} - 1,4} + \sqrt{\ln \frac{1}{1 - P_{\text{ПО}}} - 1,4} \right)^2$
Для сигнала со случайной начальной фазой (СНФ)	$q_{\text{СНФ}}^2 = 2 \left(\sqrt{\ln m + \ln \frac{1}{P_{\text{ЛТ}}}} + \sqrt{\ln \frac{1}{1 - P_{\text{ПО}}} - 1,4} \right)^2$
Для сигнала со случайной начальной фазой и флуктуирующей амплитудой (СНФА)	$q_{\text{СНФА}}^2 = 2 \left[\frac{\ln m + \ln (1/P_{\text{ЛТ}})}{\ln (1/P_{\text{ПО}})} - 1 \right]$
Для пачки N_c некогерентных импульсов с дружно флуктуирующими амплитудами	$q_{\text{ПАЧ}}^2 = \frac{2}{P_{\text{ПО}}} \sqrt{N_c} \cdot \sqrt{2 [\ln m + \ln (1/P_{\text{ЛТ}})] - 2,8}$
m – количество возможных положений сигнала (по дальности – $m = 2D/c \tau_{\text{и}}$)	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б2

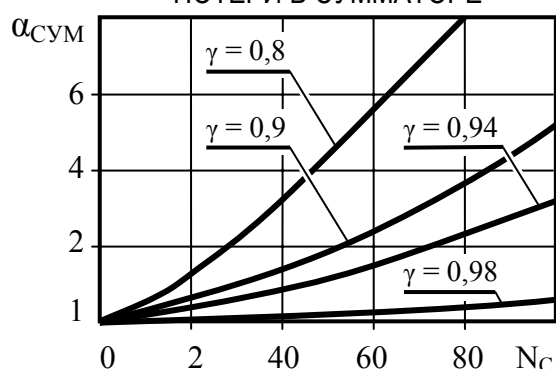
ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ПРИЕМЕ
И ОБРАБОТКЕ СИГНАЛА

1	Потери в антенне и волноводном тракте	1,6...2,1
2	Потери из-за расстройки f_0 СИГНАЛА и $f_{\text{ФИЛЬТРА}}$	1,1... 1,4
3	Потери из-за квазиоптимальности фильтра $\alpha_{\text{КО}}^*$	1,1...1,3
4	Потери из-за несогласованности по полосе	1,1...1,2
5	Потери в видеоусилителе *	1,1...1,3
6	Потери в детекторе *	1,2...6,0
7	Потери в сумматоре (рециркуляторе) *	1,1...5,0
8	Потери в индикаторе	1,4...2,0
9	Потери оператора	1,4...1,6
10	Потери автоматического съема данных	1,8...2,0
* оценку производить по приведенным ниже графикам и таблицам		

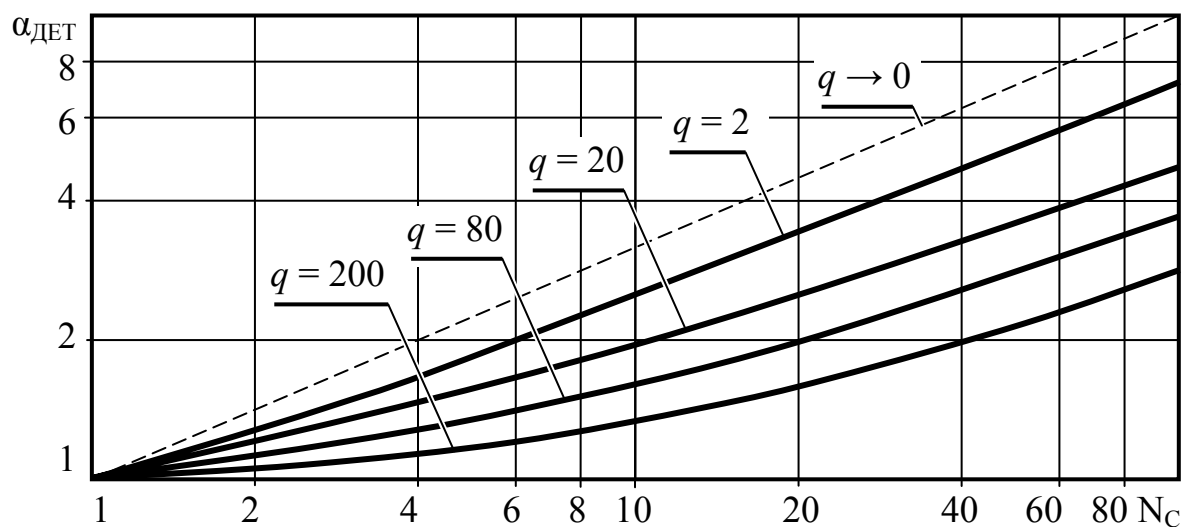
КВАЗИОПТИМАЛЬНОСТЬ ФИЛЬТРА

Радиоимпульс	Фильтр	$\alpha_{\text{КО}}$
Прямоугольный	Прямоугольный	1,21
Прямоугольный	Гауссов	1,26
Гауссов	Прямоугольный	1,0
Прямоугольный	Одиночный контур	1,24
Прямоугольный	Два контура	1,14
Прямоугольный	Пять контуров	1,12

ПОТЕРИ В СУММАТОРЕ



ПОТЕРИ В ДЕТЕКТОРЕ



ПРИЛОЖЕНИЕ В

РАСЧЕТ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РТС

РЕАЛЬНАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РТС

$$\delta(x) = \delta(x)_{\text{ПОТ}} + \sum_{i=1}^n \delta(x)_i \approx \delta(x)_{\text{ПОТ}} + \delta(x)_{\text{ВЫХ. УСТР}}$$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

по дальности	по скорости	по угловым координатам
Прямоугольный импульс $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,5 c \tau_{\text{И}}$	Прямоугольный импульс $\delta(V)_{\text{ПОТ}} = 0,6 \lambda / \tau_{\text{И}}$	Прямоугольная пачка $\delta(\beta)_{\text{ПОТ}} = \theta_{0,5}$
Гауссов импульс $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66 c \tau_{\text{И}}$ $\tau_{\text{И}}$ – на уровне $\sim 0,5$	Гауссов импульс $\delta(V)_{\text{ПОТ}} = 0,66 \lambda / \tau_{\text{И}}$	Гауссова пачка $\delta(\beta)_{\text{ПОТ}} = 1,3 \theta_{0,5}$
Гауссов импульс с ЛЧМ $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66 c \tau_{\text{И}} / k_{\text{СЖ}}$	Пачка когерентных импульсов $\delta(V)_{\text{ПОТ}} = 0,5 \lambda / N_{\text{С}} T_{\text{И}}$	

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВЫХОДНОГО УСТРОЙСТВА

АНАЛОГОВОЕ ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО (ЭЛТ)

по дальности	по скорости	по угловым координатам
$\delta(D)_{\text{АВУ}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШКАЛЫ}};$ $M_{\text{ШКАЛЫ}} = D l_{\text{РАЗВ. D}}$	$\delta(V)_{\text{АВУ}} = 0,5 \lambda \Delta F_{\text{ФИЛЬТРА}}$	$\delta(\beta)_{\text{АВУ}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШК.}};$ $M_{\text{ШК.}} = \Phi(\beta) l_{\text{РАЗВ. } \beta}$

ЦИФРОВОЕ ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО

по дальности	по скорости	по угловым координатам
$\delta(D)_{\text{ЦВУ}} = c / 2 F_{\text{СЧ}}$	$\delta(V)_{\text{ЦВУ}} = 0,5 \lambda \Delta F_{\text{ЦИФР. Ф.}}$	$\delta(\beta)_{\text{ЦВУ}} = \Delta \beta_{\text{СЧ}};$

ПРИЛОЖЕНИЕ Г1

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ

РЕЗУЛЬТИРУЮЩАЯ СЛУЧАЙНАЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА

$$\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)_{\text{ПОТ}} + \sigma^2(x)_{\text{РРВ}} + \sum_{i=1}^n \sigma^2(x)_i}$$

Потенциальные случайные среднеквадратические ошибки измерения при сигнале гауссовой формы

• по дальности	$\sigma(D)_{\text{ПОТ}} = c \tau_{\text{И}} / 2 \sqrt{\pi} k_{\text{СЖ}} q_{\text{СИП}}$
• по скорости	$\sigma(V)_{\text{ПОТ}} = c / 2 \sqrt{\pi} f_0 \tau_{\text{И}} q_{\text{СИП}}$ При использовании сигнала в виде когерентной пачки импульсов ошибка измерения скорости уменьшается в $N_{\text{С}} \cdot T_{\text{И}} / \tau_{\text{И}}$ раз
• по угловым координатам	$\sigma(\beta)_{\text{ПОТ}} = \theta_{0,5} / \sqrt{\pi} q_{\text{СИП}}$

Случайные среднеквадратические ошибки измерения из-за условий распространения радиоволн

• по дальности	$\sigma_{\text{РРВ}}(D) = 1,3 \sqrt{\sigma_a^2 d d_{\text{НЕОДН.}}}$
• по углу места	$\sigma_{\text{РРВ}}(\beta) = 1,3 \sqrt{\sigma_a^2 \cdot d / d_{\text{НЕОДН.}}}$

Случайные среднеквадратические ошибки измерения координат в индикаторных выходных устройствах

• с механической шкалой	$\sigma(x)_{\text{МЕХ}} \approx 0,15 \Delta l_{\text{ДЕЛЕН.}} M_{\text{ШКАЛЫ}}$
• с электронной шкалой	$\sigma(x)_{\text{ЭЛ}} \approx (0,05 \dots 0,1) \Delta l_{\text{ДЕЛЕН.}} M_{\text{ШКАЛЫ}}$
• с электронным визиром	$\sigma(x)_{\text{ВИЗ.}} = \sqrt{\sigma^2(x)_{\text{НЕСТ.}} + \sigma^2(x)_{\text{СОВМ.}} + \sigma^2(x)_{\text{ИНТЕРП.}}}$ $\sigma(x)_{\text{НЕСТ.}} = 0,001$ текущего значения x ; $\sigma(x)_{\text{СОВМ.}} = 0,3 \dots 0,5$ цены диаметра пятна; $\sigma(x)_{\text{ИНТЕРП.}} = 0,1$ цены деления отсчетного устройства.
• цифровой измеритель	$\sigma(x)_{\text{ЦИФР.}} = \sqrt{\sigma^2(x)_{\text{ДИСКР.}} + \sigma^2(x)_{\text{ИНСТР.}}}$ $\sigma(x)_{\text{ДИСКР.}} = \Delta x_{\text{ЭТАЛ}} / 2\sqrt{3}$ – дискретность отсчета; $\sigma(x)_{\text{ИНСТР.}} = (10^{-4} \dots 10^{-5})$ текущего значения x .

ПРИЛОЖЕНИЕ Г2

РЕЗУЛЬТИРУЮЩАЯ СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА

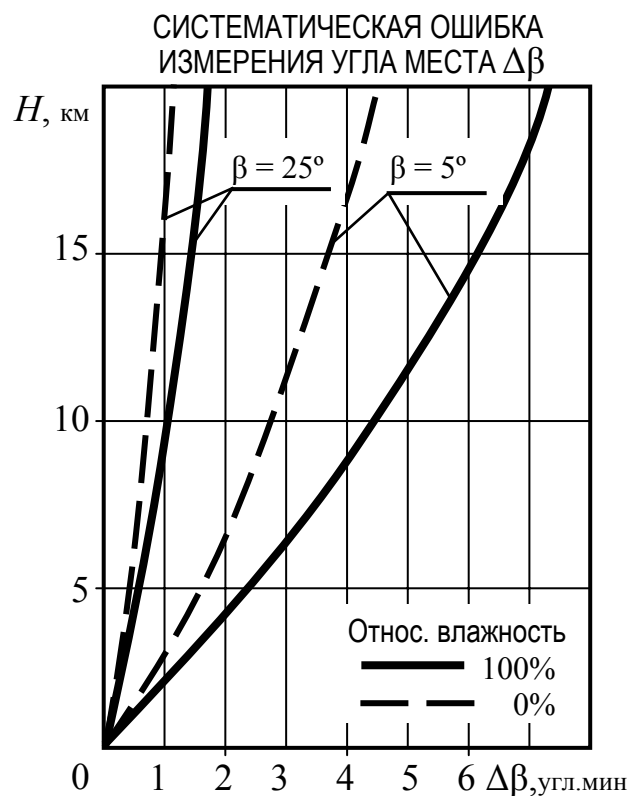
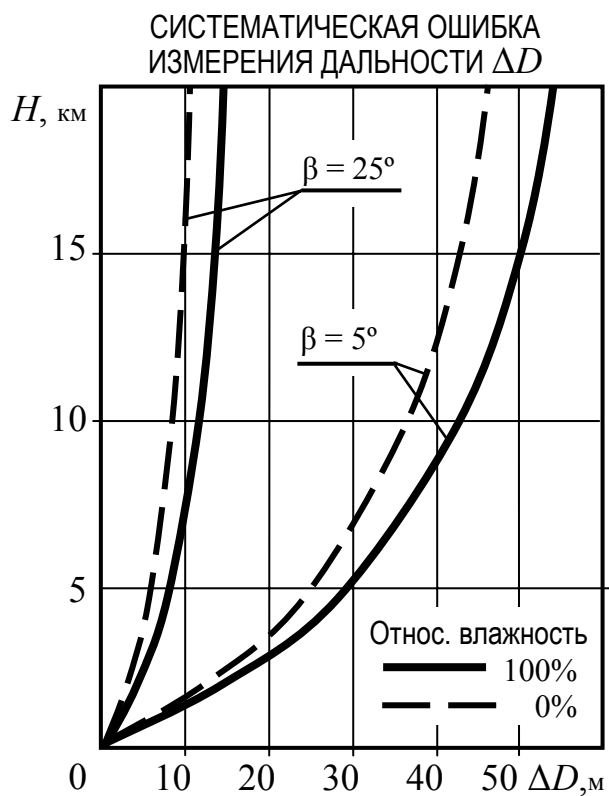
$$\Delta x_{\text{СИСТ}} = \sum_{i=1}^n \Delta x_{\text{СИСТ.}i}$$

Систематические ошибки измерения координат в индикаторных выходных устройствах

• по дальности	$\Delta D_{\text{ЗАПУСКА}} = \Delta t_{\text{ЗАПУСКА}} c / 2 ; \Delta t_{\text{ЗАПУСКА}} < 0,1 \text{ мкс.}$
	$\Delta D_{\text{МЕТОК}} = D_{\text{ЦЕЛИ}} \Delta f_{\text{МЕТОК}} / D , \quad \Delta f = (10^{-4} \dots 10^{-5}) .$
• по угловым координатам	$\Delta \beta_{\text{РАССОГЛ.}} < 0,2 \theta_{0,5} .$

Систематические ошибки измерения координат из-за условий распространения радиоволн

• по дальности	$\Delta D_{\text{РРВ}}$ — оценивается по графикам.
• по углу места	$\Delta \beta_{\text{РРВ}}$ — оценивается по графикам.

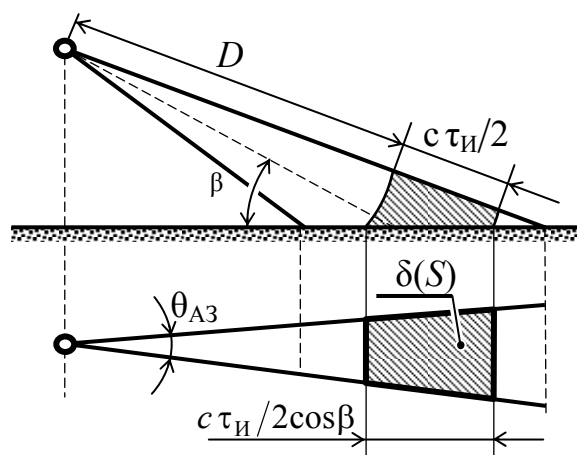


ПРИЛОЖЕНИЕ Д1

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

СРЕДНЯЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	
Наименование объекта	$\bar{\sigma}_{\text{ЭФФ}}, \text{М}^2$
Пассажирский лайнер, транспортный самолет	25...50
Истребитель	5...8
Спортивный самолет	2...4
Крылатая ракета	0,3...0,8
Транспортное судно большого тоннажа (> 10 тыс. тонн)	$(10...16) \cdot 10^3$
Транспортное судно среднего тоннажа (1...10 тыс. тонн)	$(3...10) \cdot 10^3$
Транспортное судно малого тоннажа (50...200 тонн)	50...250
Спасательный мотобот	7...20
Шлюпка, спасательный плот	1...3
Человек	0,5...1,2

ЭПР ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



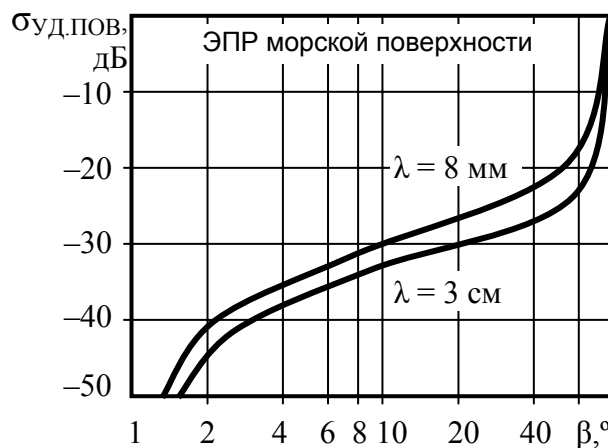
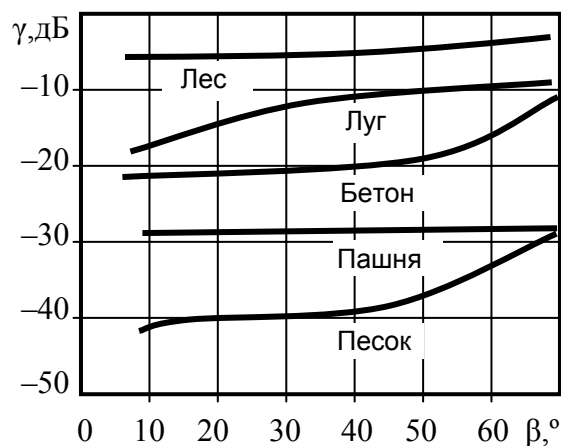
$$\sigma(S) = \sigma_{\text{уд. пов}} \delta(S) = \gamma \delta(S) \sin \beta$$

$\sigma_{\text{уд. пов}}$ – удельная ЭПР поверхности;

$\delta(S)$ – размеры элемента разрешения;

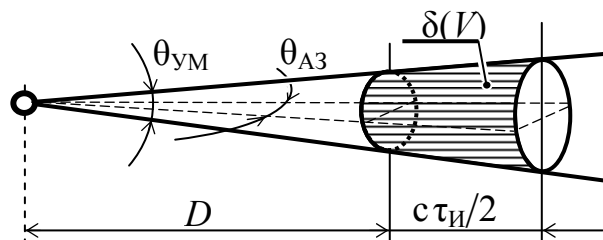
γ – коэффициент обратного рассеяния.

$$\delta(S) = \frac{c \tau_i D \theta_{A3}}{2 \cos \beta}$$



ПРИЛОЖЕНИЕ Д2

ЭПР ОБЪЕМНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

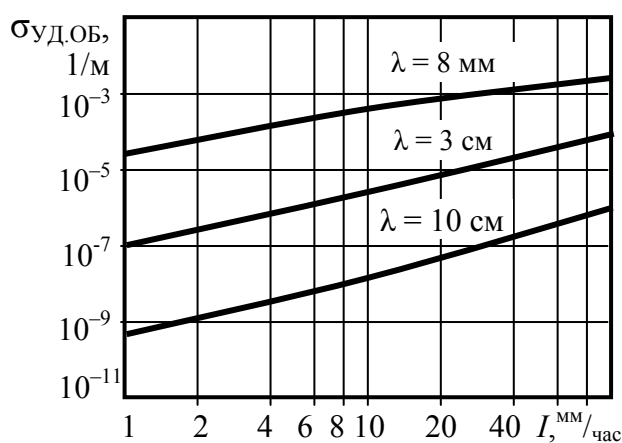


$$\sigma(V) = \sigma_{\text{уд. об}} \delta(V)$$

$\sigma_{\text{уд. об}}$ – удельная ЭПР объема;

$\delta(V)$ – размеры элемента разрешения;

$$\delta(S) = \frac{\pi}{4} \frac{c}{2} \tau_{\text{и}} D^2 \theta_{\text{АЗ}} \theta_{\text{АЗ}}$$



ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ ПРОСТЫХ ОБЪЕКТОВ

Вид объекта	$\sigma_{\text{эфф}}, \text{ м}^2$	$\sigma_{\text{эфф. макс}}, \text{ м}^2$ ($\lambda = 3 \text{ см}; a = 1 \text{ м}$)	$\theta_{0,5 \text{ ОБР. РАСС.}}$
Полуволновый вибратор	$\sigma = 0,86 \lambda^2 \sin^4 \varphi$	0,00077	~ 65°
Металлический шар	$\sigma = \pi d^2 / 4$	0,78	4 π
Металлический лист	$\sigma = 4 \pi a^4 / \lambda^2$	14 000	~ 0,9°
Угловой отражатель ▲	$\sigma = 4 \pi a^4 / 3 \lambda^2$	4 600	~ 60°
Угловой отражатель ■	$\sigma = 12 \pi a^4 / \lambda^2$	42 300	~ 35°

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

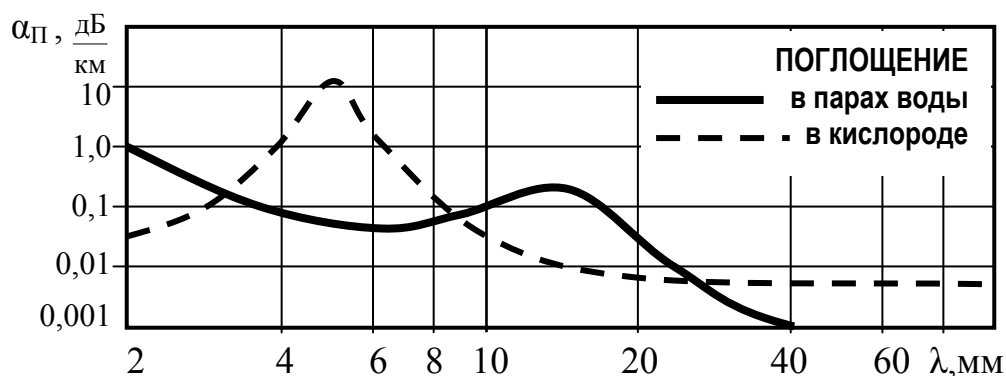
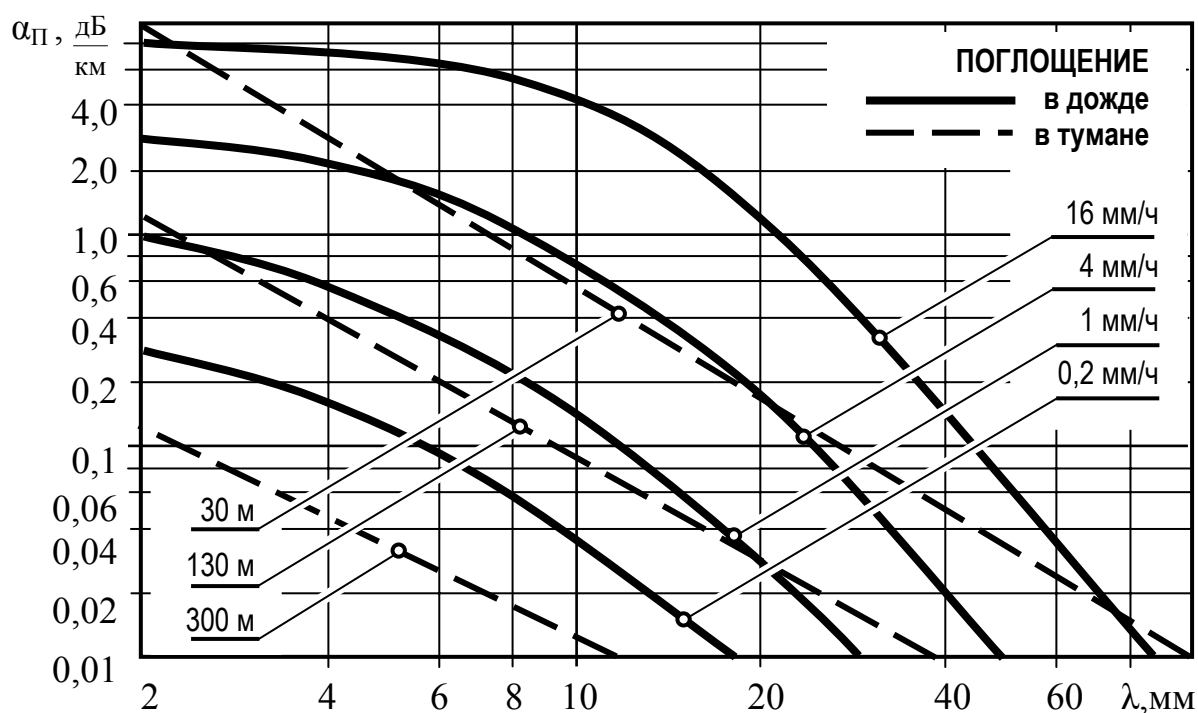
РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РТС

ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ РЛС В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

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

УЧЕТ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА В РЕАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

$$P_{\text{ПР.МИН.Р}} = P_{\text{ПР.МИН}} \cdot 10^{0,1 \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{ПВ}}(\text{дБ/км}) \cdot l_i(\text{км})}$$



ПРЕДЕЛЬНАЯ ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ РЛС

$$D_{\text{ПРЕД}}(\text{км}) \approx 130 \left[\sqrt{h_{\text{А}}(\text{км})} + \sqrt{h_{\text{Ц}}(\text{км})} \right] \approx 4,1 \left[\sqrt{h_{\text{А}}(\text{м})} + \sqrt{h_{\text{Ц}}(\text{м})} \right]$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
2. Багдасарян С.И., Маляренко А.И., Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана – М. "Радиотехника", 2007. – 512 с.
3. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Под ред. Ю.М. Казаринова.– М.: Высш. школа, 1990. – 496 с.
4. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: Учебное пособие для вузов, – Минск: Выш. школа, 1988. – 369 с.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: Учебное пособие для вузов. – М: Радио и связь ,1983. – 536 с.
6. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Сов. радио, 1977. – 320 с.

Заказ № _____ от "_____" _____ 2009 г. Тираж _____
Издательство СевНТУ

