

Федеральное агентство морского и речного флота
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского»

Навигационные характеристики РЛС

Методические указания по выполнению курсовой работы для курсантов и
студентов заочников специальности 250503 ТЭТР

Составил: Н. В. Лоскутов

Владивосток
2016

Рецензент: С. С. Ширшин

Составил: Николай Викторович Лоскутов

Навигационные характеристики РЛС

Методические указания
Печатается в авторской редакции

0,6 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Формат 60 x 84/16
Заказ №

Отпечатано в типографии ИПК МГУ им. адм. Г. И. Невельского
Владивосток 59, ул. Верхнепортовая 50а

1. Методика расчёта тактических характеристик РЛС

1.1. Исходные данные необходимые для расчёта ТХ

Для определения тактико-технических показателей РЛС необходимо иметь сведения об атмосферных условиях, в которых будет эксплуатироваться РЛС, и о наиболее ощутимых помехах в её работе.

Необходимо также учитывать возможное ограничение в выборе таких тактико-технических показателей РЛС, как максимально-допустимые значения средней и импульсной мощности. Анализ тактических, решаемых с помощью рассчитываемой РЛС, условий её применения, учёт отражающих свойств целей позволяют определить методику расчёта при условии наличия требуемых технических показателей РЛС:

- 1). Импульсная и средняя мощность.
- 2). Частота повторения и длительность импульсов.
- 3). Длина волны излучения.
- 4). Параметры антенны и высота ее установки.
- 5). Параметры приемного устройства.

Расчёт тактико-технических показателей РЛС включает следующие этапы:
выбор типа излучаемых колебаний и длины волны;
расчёт параметров диаграммы направленности антенны;
расчет минимальной дальности действия и мертвой зоны;
расчет разрешающей способности РЛС;
расчет погрешностей определения координат целей;
расчет максимальной дальности действия РЛС в свободном пространстве.

1.2. Выбор типа излучаемых колебаний

Первым вопросом, который надо решить, приступая к расчёту основных тактико-технических характеристик РЛС, является вопрос о виде излучаемых колебаний. РЛС с непрерывным излучением характеризуются, по сравнению с импульсными более высокой чувствительностью, но трудностью разрешения по дальности.

С другой стороны, их достоинства заключаются в относительно низкой мощности излучаемых колебаний и лучшем качестве селекции целей по скорости.

Для целей судовождения используются импульсные РЛС.

Для расчета ТТХ РЛС импульсного типа необходимо также решить вопрос о виде импульсных сигналов: когерентные или некогерентные, простые или сложные.

Простыми сигналами называются такие сигналы, у которых произведение ширины спектра Δf_c на длительность τ_i сигнала $\Delta f_c \tau_i = 1$, а сложными - такие, у которых $\Delta f_c \tau_i \geq 1$.

Выбор вида излучаемых колебаний в значительной степени предопределяет основные технические решения.

Для целей судовождения достаточно использовать простые сигналы.

1.3. Длина волны.

Длина волны и геометрические размеры антенны определяют ширину диаграммы направленности антенны РЛС.

Участки диапазонов частот, выделенных ИТУ для радиолокации и космической радионавигации, обозначаются буквами. В морской радиолокации приняты 3 диапазона: X – для частоты 9,41 ГГц, S – для частоты 3,05 ГГц и K – для частоты 33,2 ГГц. Радиолокаторы K диапазона используются в основном в береговых РЛС.

Выбор этих диапазонов частот не случаен и физически обоснован, так как на этих частотах влияние земной атмосферы на затухание электромагнитных колебаний меньше, чем на других частотах.

Длины волн, соответствующие этим диапазонам, следующие:

X – 3,2 см при частоте 9410 МГц;

S – 10 см при частоте 3030 МГц;

K – 0,9 см при частоте 33200 МГц.

1.4. Ширина луча диаграммы направленности антенны.

Для наиболее распространённых в настоящее время зеркальных антенн справедливо соотношение:

$$\gamma_{Г0,5} \approx \frac{60 \cdot \lambda}{d_0} \quad (1.1)$$

Где $\gamma_{Г0,5}$ – ширина луча диаграммы направленности по точкам половинной мощности;

d_0 – размер раскрыва антенны в соответствующей плоскости .

В судовых условиях максимальный горизонтальный размер антенны не может быть большим, и его выбирают, как правило, не более 3 метров.

В расчетах будем исходить из размера принятого в международной практике: 6, 7 и 9 футов.

1.5. Минимальная дальность действия и мертвая зона.

Во время излучения зондирующего импульса приемник РЛС отключен от антенно-фидерного тракта с помощью антенного переключателя. Кроме того, бланкирование приемника не позволяет принимать отраженные сигналы до окончания излучения зондирующего сигнала.

Таким образом, минимальная дальность действия будет определяться длительностью зондирующего импульса.

$$D_{\min} = \frac{c \cdot \tau_{\text{и}}}{2}, \quad (1.2)$$

При расчете D_{\min} в метрах скорость берем в м/мкс, а время в мкс. Тогда

$$D_{\min} = 150 \cdot \tau_{\text{и}} \quad (1.3)$$

При работе на малых шкалах дальности, где длительность импульсов составляет сотые доли микросекунды D_{\min} - менее 10 м.

При работе на шкалах большой дальности длительность зондирующих импульсов достигает 1 мкс, тогда D_{\min} возрастает до 150 м.

При расчете мертвой зоны необходимо учитывать ширину луча диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости и высоту установки антенны. С учетом этих величин:

$$D_{\text{м.з.}} = \frac{h_a}{\text{tg } \gamma_{\text{в}}/2} \quad (1.4)$$

1.6. Разрешающая способность по дальности и по углу.

Если задан максимальный размер антенны и определена ширина луча в горизонтальной плоскости, то можно рассчитать величину разрешающего расстояния ΔD и разрешающего угла $\Delta \gamma_{\text{г}}$.

Раздельный прием сигналов, находящихся на одном направлении, возможен, если выполняется условие $\frac{2 \cdot \Delta D}{c} \geq \tau_{\text{и}}$.

Минимальная величина $\Delta D_{\text{д}}$ (разрешающее расстояние) определяет разрешающую способность РЛС по дальности

$$\Delta D_{\text{д}} = \frac{c \cdot \tau_{\text{и}}}{2}. \quad (1.5)$$

Для расчета в метрах c берем в (м/мкс), $\tau_{\text{и}}$ – в (мкс)

$$\Delta D_{\text{д}} = 150 \cdot \tau_{\text{и}}. \quad (1.6)$$

Разрешающая способность по азимуту оценивается минимальной величиной угла $\Delta \gamma_{\text{г}}$ между двумя равноудаленными близко расположенными точечными целями, при котором отметки этих целей на экране видны отдельно друг от друга.

Как известно

$$\Delta \gamma_{\text{г}} = \varphi_{\gamma} \cdot \gamma_{0,5}, \quad (1.7)$$

где φ_{γ} – параметр, учитывающий ухудшение потенциальной разрешающей способности. Обычно φ_{γ} выбирается равным 1,5 – 3.

Подставив вместо $\gamma_{0,5}$ ее выражение через λ и d_0 , получим выражение для расчета $\Delta\gamma_r$

$$\Delta\gamma_r = \frac{60 \cdot \lambda \cdot \varphi_\gamma}{d_0} \quad (1.8)$$

При необходимости разрешающая способность по азимуту может быть пересчитана в расстояние. При D равном измеренной дистанции до цели.

$$\Delta D_a = \frac{D \cdot \Delta\gamma_r}{57,3} \quad (1.9)$$

1.7. Точность определения координат целей

Среднеквадратичное значение ошибки измерения дальности определяется длительностью зондирующего импульса и соотношением сигнал/шум на входе приемника

$$\delta(D) = \frac{\eta \cdot c \cdot \tau_{\text{И}}}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot q}} \quad (1.10)$$

где η – коэффициент ухудшения потенциальной точности, q – соотношение сигнал/шум на входе приемника.

При аппроксимации огибающей выходного сигнала гауссовой кривой η можно положить равным 1.

Необходимое соотношение сигнал/шум для сигнала с неизвестной начальной фазой и амплитудой выбирается из соображений большой вероятности правильного обнаружения $P_{\text{по}} = 0,9$ и нежелательности ложных тревог $P_{\text{лт}} = 1 \cdot 10^{-3}$.

Его можно определить, используя рисунок 1.1, взятый из справочника [1].

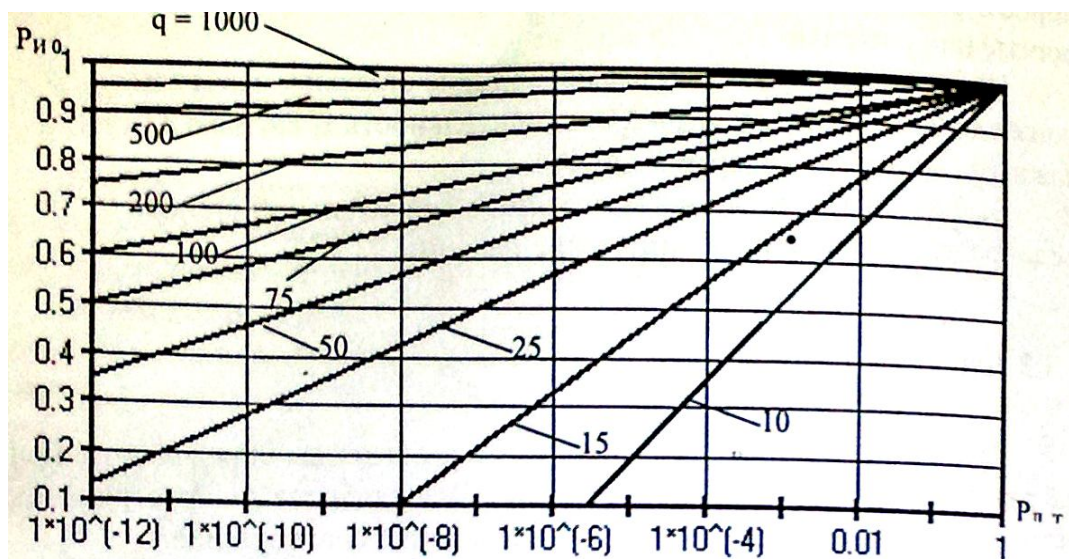


Рис. 1.1. Характеристики обнаружения сигнала со случайно изменяющимися амплитудой и начальной фазой

Среднеквадратичное значение ошибки измерения направления определяется следующим образом

$$\varphi(\gamma_r) = \frac{\dot{\eta} \cdot \gamma_{0,5}}{\sqrt{\pi \cdot q}} \quad (1.11)$$

2. Расчет дальности действия РЛС.

2.1. Максимальная дальность обнаружения целей в свободном пространстве.

Для надежной работы РЛС, выполнения требуемых параметров обнаружения, а также получения приемлемых погрешностей определения координат и параметров движения целей мощность отраженного сигнала должна быть не менее чем в 10 раз больше минимальной чувствительности приемника $P_{пр\ min}$. Эта величина определяется как коэффициент различимости m . Она рассчитывается отношением мощности сигнала P_c к мощности шума $P_{ш}$. Минимальная чувствительность современных приемников 3-х сантиметровых РЛС лежит в пределах $P_{пр\ min} = 10^{-12} - 10^{-13}$ Вт, а 10-ти сантиметровых – $(1...5) \cdot 10^{-14}$ Вт.

С учетом реальной чувствительности приемника $P_{пр\ реал} = m \cdot P_{пр\ min}$ воспользуемся основным уравнением радиолокации.

$$D_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_{и} \cdot G_a \cdot S_{эф} \cdot S_a}{16\pi^2 \cdot m \cdot P_{пр\ min}}} \quad (2.1)$$

- $P_{и}$ – импульсная мощность;
- G_a – коэффициент направленного действия антенны (КНД);
- $S_{эф}$ – эффективная площадь отражения цели;
- S_a – эффективная площадь антенны (апертура);
- m – коэффициент различимости;
- $P_{пр\ min}$ – чувствительность приемника.

Эффективная площадь отражения цели (ЭПР) берется из таблицы 1:

Таблица 1

Тип судна	Длина судна, м	Общая высота судна, м	Тоннаж судна, т	ЭПР, м ²
Рыболовный бот	8,5	2,4	5	2 – 10
Малое судно	42	4,5	225	350
Плашкоут с углем	50	6	1200	1500
Каботажное	67	7,6	5000	5500

судно				
Военный фрегат	100	12	6000	15000
Грузовое судно	140	15	8000	9000
Грузовое судно	165	15	15000	14000
Рудовоз	205	18	25000	24000
Контейнеровоз	210	22	26500	55000
Танкер	250	20	50000	до 150000

Коэффициент направленного действия антенны связан с апертурой соотношением:

$$G_a = \frac{4\pi \cdot S_a}{\lambda^2} \quad (2.2)$$

где апертура $S_a = a \cdot b$.

a – горизонтальный размер антенны, b – вертикальный.

Горизонтальный и вертикальный размеры берутся в радианах и рассчитываются согласно выражения 1.1.

Для 3-сантиметровых судовых РЛС ширина луча диаграммы направленности $\gamma_r \approx 1^\circ$, тогда размер $a = \frac{1}{57,3}$ рад.

$$\gamma_b \approx 20^\circ, \text{ тогда размер } b = \frac{20}{57,3} \text{ рад.}$$

Для 10-сантиметровых судовых РЛС ширина луча

$$\gamma_r \approx 2^\circ, \text{ тогда размер } a = \frac{2}{57,3} \text{ рад.}$$

$$\gamma_b \approx 20^\circ, \text{ тогда размер } b = \frac{20}{57,3} \text{ рад.}$$

Определив апертуру, рассчитываем, G_a .

Для расчета апертуры берется рассчитанное значения $\gamma_{r0,5}$.

Однако коэффициент усиления реальной антенны G с учетом КПД антенны равен:

$$G = \eta \cdot G_a, \quad (2.3)$$

где η – КПД антенны выбирается равным 0,7.

При расчете D_{\max} необходимо это учитывать.

3. Исходные данные для проектирования и таблица вариантов

3.1. Исходные данные для расчета

- 1) Длина волны λ
- 2) Импульсная мощность..... $P_{\text{и}}$
- 3) Длительность зондирующего импульса..... $\tau_{\text{и}}$
- 4) Минимальная чувствительность приемника..... $P_{\text{пр min}}$
- 5) Коэффициент различимости..... m

- 6) Высота установки антенны..... h_a
 7) Горизонтальный размер антенны..... d_0
 8) Параметр, учитывающий ухудшение РСН..... φ_γ
 9) Коэффициент ухудшения потенциальной точности..... η

3.2. Таблица вариантов

Таблица 2

Параметр	В а р и а н т ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ (см)	3,2	10	3,2	10	3,2	10	3,2	10	3,2	10
γ_B	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P_H (КВт)	3,5	20	4	30	12	25	15	30	20	20
τ_H (мкс)	0,05	0,8	0,3	0,5	0,3	0,7	0,35	0,8	0,8	1
$P_{пр min}$ (Вт)	10^{-13}	10^{-14}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-13}
m	12	15	10	17	11	12	10	14	10	12
h_a (м)	8	15	6	18	15	14	15	15	16	14
d_0 (ft)	6	9	7	9	9	9	9	9	9	9
φ_γ	1,7	1,8	1,5	1,9	2	2,2	1,8	2	1,7	1,8
η	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Параметр	В а р и а н т ы									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
λ (см)	3,2	10	3,2	10	3,2	10	3,2	10	3,2	10
γ_B	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P_H (КВт)	20	20	30	15	25	12	30	4	20	3,5
τ_H (мкс)	1	0,8	0,8	0,35	0,7	0,3	0,5	0,3	0,8	0,05
$P_{пр min}$ (Вт)	10^{-13}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-14}	10^{-13}
m	12	10	14	10	12	11	17	10	15	12
h_a (м)	14	16	15	15	14	15	18	6	15	8
d_0 (ft)	9	9	9	9	9	9	9	7	9	6
φ_γ	1,8	1,7	2	1,8	2,2	2	1,9	1,5	1,8	1,7
η	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: Выбор типа судна свободный из Таблицы 1. Тип судна должен быть указан при расчете дальности действия и в таблице результатов.

Дистанции, используемые для расчетов в метрах, в итоговой таблице должны быть указаны в морских милях.

Расчитанные данные сводятся в таблицу результатов.

Таблица результатов

Таблица 3

$\gamma_{Г0,5}$ град.		$\delta(D)$ м	
D_{\min} М		$\varphi(\gamma_G)$ град.	
$D_{М.З}$ М.		G_a ед.	
ΔD_d м		G ед.	
$\Delta \gamma_G$ град.		S_a м ²	
ΔD_a м		D_{\max} М. М.	

Литература:

1. Васин В.В., Степанов Б.Н. Справочник-задачник по радиолокации. М.: Советское радио, 1977 г.
2. Власов В.И. и др. Судовые радиолокационные станции и их применение. Л.: Судостроение, 1969 г.
3. Антенны и устройства СВЧ под ред. Воскресенского Д.И. М.: Советское радио, 1972 г.
4. Кочержевский Г.А. и др. Антенно-фидерные устройства. М.: Радио и связь, 1989 г.
5. Байрашевский А.М. Судовые радиолокационные системы. М.: Транспорт, 1982 г.
6. Власов В.И. Электродинамические задачи в радиолокации. М.: Судостроение, 1964 г.
7. Справочник по радиолокации под ред. М. Скопника. М.: Советское радио, 1979.
8. Бобров Н.В., Максимов Г.В. и др. Расчет радиоприемников. М.: Воениздат, 1971г.
9. Афанасьев В. В. и др. Судовые радиолокационные системы. С. П.: Веленара, 2009 г.
10. Техническая документация судовых РЛС.