

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем

Кафедра «Радиоэлектронные системы и технологии»

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
к выполнению практических заданий
и лабораторных работ по модулю
для слушателей дополнительной профессиональной программы
профессиональной переподготовки
«Телекоммуникационные и радиотехнические системы»

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 621.396.96(076.5)
ББК 32.841я73
Р154

Рецензент:

В. В. Головин - профессор кафедры «Радиоэлектронные системы и технологии», канд. техн. наук, доцент

Ответственный за выпуск:

И. Л. Афонин - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектронные системы и технологии»

Составители: А. Л. Поляков, И. Л. Афонин

Р154 Радиотехнические системы : учебно-методическое пособие к выполнению практических заданий и лабораторных работ по модулю для слушателей дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Телекоммуникационные и радиотехнические системы / Севастопольский государственный университет, Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем, кафедра «Радиоэлектронные системы и технологии» ; сост. А. Л. Поляков, И. Л. Афонин. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 40 с. – Текст : электронный.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для оказания помощи слушателям ДПО в изучении теоретического материала дисциплины, углубления знаний о современных радиоэлектронных системах, освоения методики расчета основных технических характеристик радиолокационных станций: зоны обзора, параметров обнаружения, разрешающей способности,

УДК 621.396.96(076.5)
ББК 32.841я73

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектронные системы и технологии», протокол № 2 от 15 сентября 2022 года.

Рекомендовано к изданию на заседании ученого совета Института радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем, протокол № 2 от 15 сентября 2022 года.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. ПР № 1. Расчет параметров зоны обзора РЛС	5
2. ПР № 2. Расчет параметров обнаружения радиосигналов.....	7
3. ПР № 3. Расчет разрешающей способности РЛС	8
4. ЛР № 1. Исследование разрешающей способности РЛС.....	10
5. ЛР № 2. Исследование точности измерения координат РЛС.....	15
Библиографический список	21
Приложения	22

ВВЕДЕНИЕ

Программой дополнительной профессиональной переподготовки «Телекоммуникационные и радиотехнические системы» наряду с изучением большого объема теоретического материала предусмотрено овладение слушателями методикой расчета, анализа и синтеза радиоэлектронных систем при выполнении расчетно-практических заданий. На практических занятиях слушатели должны ознакомиться с методикой расчёта зоны действия радиолокационной станции (РЛС), параметров обнаружения сигналов и разрешающей способности РЛС. Кроме того, предполагается выполнения лабораторных работ по исследованию разрешающей способности РЛС и точности измерения координат.

Отчет по каждому расчетно-практическому заданию (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.

Выбор варианта задания производится по порядковому номеру в списке группы.

В ходе выполнения лабораторных работ слушатели должны изучить принципы построения и особенности эксплуатации судовых навигационных РЛС на примере РЛС «Лоция» и «SRN 206».

Цель лабораторных работ: Изучить принципы построения судовых навигационных радиолокационных станций кругового обзора «Лоция» и «SNR 206», рассчитать и экспериментально исследовать разрешающую способность и погрешности измерения координат объектов в различных режимах.

1. Расчетно-практическое занятие № 1

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ОБЗОРА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

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 1.1 и 1.2, 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 посылки 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 последующих расчетно-практических заданий.

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 его размеров, вида обзора пространства и скорости поворота ДН; составить таблицу полученных параметров и сделать подробные выводы.

Таблица 1.1 — Индивидуальные исходные данные для расчета первого задания

Порядковый номер в списке группы	$l_{\text{Аз}},$ м	$l_{\text{Ум}},$ м	Распределение поля в раскрыве антенны	$T_{\text{Обз}},$ с
1	1,8	0,3	$F(x) = 1$	9
2	3,1	1,1	$F(x) = 1 - 2x/l $	10
3	2,1	0,4	$F(x) = \cos(\pi x/l)$	7
4	3,3	0,6	$F(x) = 1 - 0,2(2x/l)^2$	6
5	1,5	1,5	$F(x) = \cos^2(\pi x/l)$	5
6	3,0	0,7	$F(x) = 1 - (2x/l)^2$	8
7	2,3	1,1	$F(x) = \cos^3(\pi x/l)$	9
8	3,1	2,0	$F(x) = 1 - 0,5(2x/l)^2$	6
9	2,9	1,0	$F(x) = \cos^4(\pi x/l)$	7
10	1,5	1,2	$F(x) = [1 - (2x/l)^2]^2$	10

Таблица 1.2 — Индивидуальные исходные данные для расчета первого задания

Порядковый номер в списке группы	$\lambda,$ мм	$D_{\text{мин}},$ м	$D_{\text{макс}},$ км	$\Phi_{\text{Аз}},$ град	$\Phi_{\text{Ум}},$ град	Вид обзора
10	29	150	60	360°	40°	Круговой
9	31	170	50	90°	30°	Секторный
8	8,4	70	20	360°	20°	Винтовой
7	4,1	50	15	30°	40°	Строчный
6	32	100	42	360°	30°	Круговой
5	16	180	60	120°	25°	Секторный
4	8,6	90	20	360°	30°	Винтовой
3	16	170	26	50°	25°	Строчный
2	30	160	82	60°	20°	Круговой
1	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 2.1, 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_F для всех трёх моделей сигнала (Приложение Б1). Количество импульсов в пачке при этом определяется по результатам расчета первого задания.

Таблица 2.1 — 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 РЛС"

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 (таблица 3.1) результирующей разрешающей способности по дальности δ_D и по азимуту $\delta_{\text{АЗ}}$. Предложить пути обеспечения требуемых значений разрешающей способности.

Таблица 3.1 — 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 следует 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. Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЛС

4.1. Общие сведения об индикаторах кругового обзора

В обзорных навигационных РЛС с индикаторами кругового обзора (ИКО) для измерения дальности до радиолокационных объектов используется импульсный метод. При импульсном методе в направлении объекта излучается короткий зондирующий импульс и измеряется время запаздывания $t_{\text{зап}}$ радиоимпульса, отраженного от цели, относительно момента излучения зондирующего сигнала. При известной скорости распространения электромагнитных волн ($c = 2,997 \cdot 10^8$ м/с) дальность до цели можно определить из формулы:

$$D = c t_{\text{зап}} / 2. \quad (4.1)$$

На индикаторе кругового обзора (ИКО) в момент излучения зондирующего импульса запускается радиальная развертка, и луч ЭЛТ линейно перемещается от центра к краю экрана. При поступлении от приемника отраженного от цели сигнала интенсивность электронного луча ЭЛТ увеличивается и на экране возникает светящееся пятно. Чем больше $t_{\text{зап}}$ по дальности, тем дальше от центра и ближе к краю экрана будет расположена эта яркостная отметка цели (рис. 4.1).

Для повышения точности и удобства измерения дальности в ИКО РЛС формируются электронные метки:

- неподвижные круги дальности (НКД), представляющие собой концентрические окружности, относительно которых может быть определена дальность объекта;
- подвижный круг дальности (ПКД). Радиус окружности ПКД устанавливается оператором РЛС. Измерение дальности производится путем совмещения ПКД с отметкой от цели и последующего определения значения дальности до цели по шкале отсчетного устройства.

Угловое положение объекта в обзорных РЛС измеряется методом максимума при непрерывном круговом обзоре антенным лучом. Синхронно с вращением антенны на экране ИКО создается круговая развертка, которая может быть обеспечена, либо вращением отклоняющей системы (ОС) на оси электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), либо подачей синусоидального и косинусоидального напряжений на неподвижные взаимно-перпендикулярные катушки ОС ЭЛТ.

В процессе обзора, когда цель попадает в зону диаграммы направленности (ДН) антенны, она облучается несколькими зондирующими импульсами. Вследствие этого сигнал от цели представляется не одним отраженным импульсом, а пачкой импульсов, имеющих одно и то же временное запаздывание (пропорциональное дальности), но различный азимут.

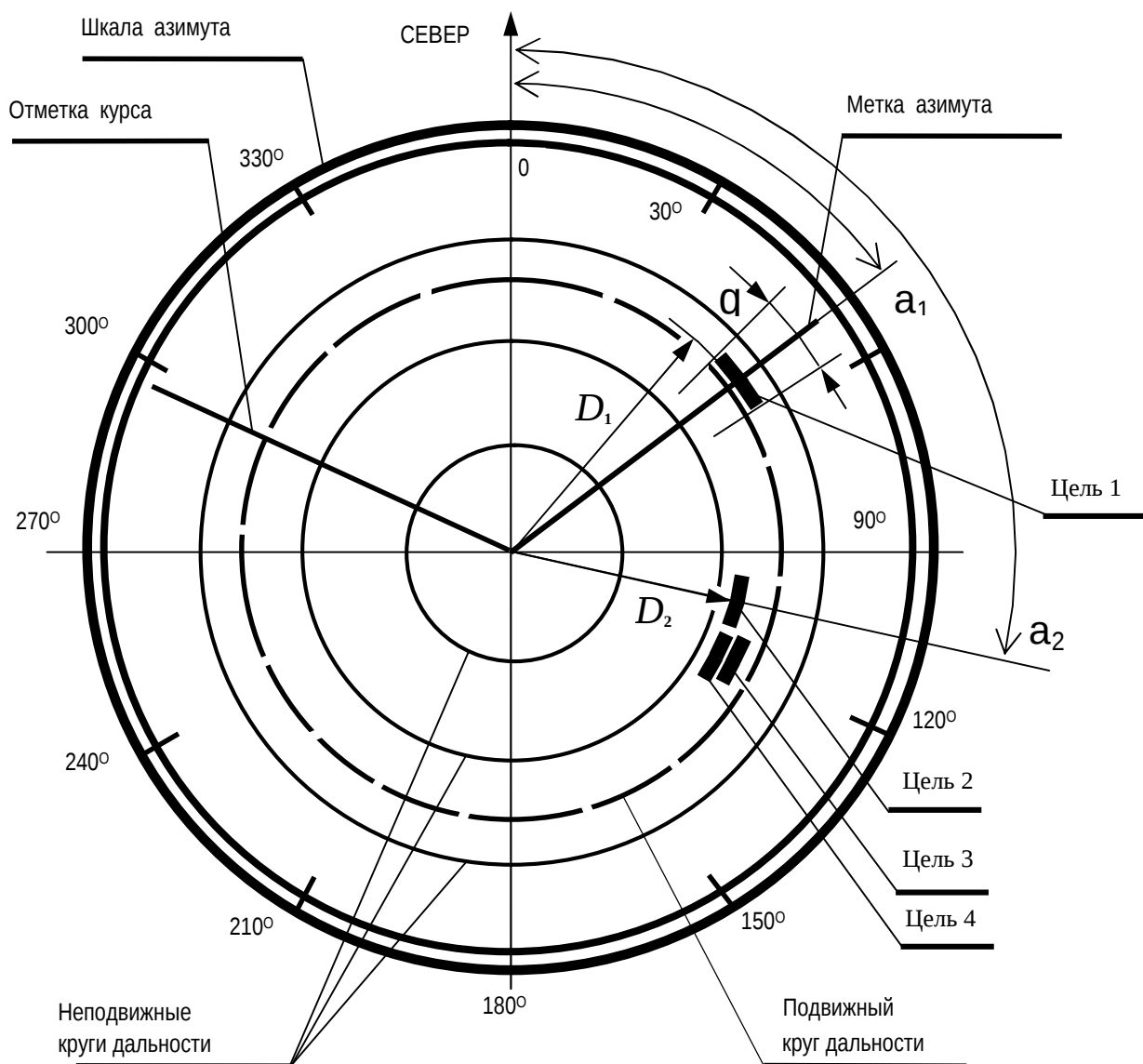


Рис. 4.1. Принцип формирования изображения на экране индикатора кругового обзора

За один период следования зондирующих импульсов (радиальной развертки) антенна успевает повернуться на очень малый угол (десятые и даже сотые доли градуса). Поэтому точечные отметки импульсов на экране индикатора кругового обзора (ИКО) сливаются и имеют форму дуг с угловой шириной θ . Под θ обычно принимается ширина диаграммы направленности антенны по уровню половинной мощности.

Для повышения точности измерения азимута по периметру экрана ИКО нанесена кольцевая шкала азимута. Отсчет азимута цели производится по этой шкале с помощью электронного или механического визира азимута, который совмещается с отметкой курса.

На рис. 4.1 показан экран ИКО, на котором имеются отметки четырех одиночных целей. Если антенна РЛС с шириной диаграммы направленности θ совершает круговой обзор по часовой стрелке, то в процессе обзора первоначально облучается первая цель, дальность которой — D_1 и азимут —

α_1 , а затем вторая цель, дальность которой — D_2 и азимут — α_2 . Отметка курса показывает ориентацию строительной оси судна относительно направления на север.

4.2. Методические рекомендации по расчету разрешающей способности РЛС кругового обзора

Задача разрешения сводится к раздельному выделению сигналов отраженных от нескольких близко расположенных объектов. Успешность разрешения оценивается разрешающей способностью — минимальным отличием в параметрах сигналов, при котором они могут быть выделены раздельно. Обзорные РЛС характеризуются разрешающей способностью по дальности и разрешающей способностью по угловым координатам (азимуту).

На экране кругового обзора (см. рис. 4.1) изображены отметки от двух сосредоточенных близкорасположенных объектов (цель 3 и цель 4) которые имеют различную дальность и за счет этого могут быть выделены раздельно. Но если расстояние между объектами уменьшится, то отметки целей сольются и не станут неразрешимыми по дальности.

Отметки от цели 2 и цели 4 так же отображаются на экране раздельно за счет их разного углового положения (азимута). Однако при их сближении друг с другом они станут неразрешимы по азимуту.

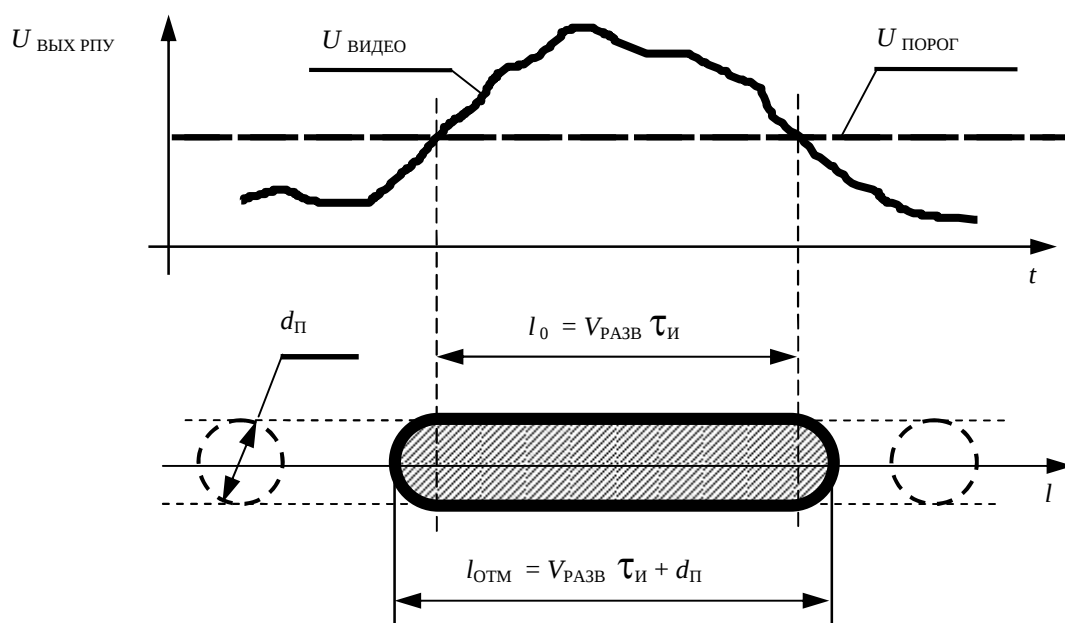


Рис. 4.2. Диаграмма, поясняющая принцип формирования яркостной отметки по дальности на экране индикатора

Таким образом, можно сделать вывод, что разрешающая способность определяется протяженностью яркостной отметки по соответствующей координате на экране индикатора. Диаграмма, представленная на рис. 4.2, поясняет, что размер яркостной отметки по дальности $l_{\text{ОТМ}}$ на экране индикатора при фиксированной скорости развертки $V_{\text{РАЗВ}}$ можно определить как сумму протяженности превышения порога зажигания l_0 и диаметра

яркостного пятна d_{Π} ЭЛТ. Первое слагаемое характеризует потенциальную разрешающую способность, а второе — разрешающую способность выходного устройства.

4.2.1. Методика расчета разрешающей способности по дальности

Разрешающая способность РЛС по дальности $\delta(D)$ для индикаторов с яркостной отметкой определяется в виде суммы двух составляющих:

- потенциальной разрешающей способностью $\delta(D)_{\text{ПОТ}}$;
- разрешающей способностью выходного устройства $\delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}}$:

$$\delta(D) \approx \delta(D)_{\text{ПОТ}} + \delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}} \quad (4.2)$$

Потенциальная разрешающая способность $\delta(D)_{\text{ПОТ}}$ по дальности зависит только от длительности отклика сигнала на выходе приемника (согласованного фильтра) и при использовании простых гауссовых импульсов составляет:

$$\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66 c t_{\text{и}} , \quad (4.3)$$

где $t_{\text{и}}$ — длительность зондирующего импульса на уровне 0,5.

Разрешающая способность по дальности выходного устройства $\delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}}$ определяется диаметром пятна d_{Π} (качеством фокусировки) электронно-лучевой трубки или кинескопа РЛС. У современных выходных устройств отношение диаметра экрана к диаметру пятна $d_{\text{ЭКРАНА}}/d_{\Pi} = (600 \dots 1300)$.

При этом разрешающая способность выходного устройства:

$$\delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}} = d_{\Pi} M_{\text{ШКАЛЫ}}; \quad M_{\text{ШКАЛЫ}} = D/l_{\text{РАЗВ.}D}, \quad (4.4)$$

где $M_{\text{ШКАЛЫ}}$ — масштаб шкалы дальности (отношение выбранного значения дальности D к длине развертки по дальности $l_{\text{РАЗВ.}D}$).

4.2.2. Методика расчета разрешающей способности по азимуту

Разрешающая способность РЛС по азимуту $\delta(\beta)$ для индикаторов кругового обзора определяется также в виде суммы двух составляющих:

$$\delta(\beta) = \delta(\beta)_{\text{ПОТ}} + \delta(\beta)_{\text{ВЫХ.УСТР}}. \quad (4.5)$$

Потенциальная разрешающая способность по азимуту определяется протяженностью отметки от цели вдоль линии развертки по азимуту (по окружности) и зависит от ширины ДН антенны в азимутальной плоскости:

$$\delta(\beta)_{\text{ПОТ}} = 1,3\theta_{0,5}. \quad (4.6)$$

Разрешающая способность выходного устройства определяется диаметром пятна d_{Π} и масштабом шкалы азимута $M_{\text{ШК.}\beta}$:

$$\delta(\beta)_{\text{ВЫХ. УСТР}} = d_{\Pi} M_{\text{ШК},\beta}; \quad M_{\text{ШК},\beta} = \Phi(\beta)/l_{\text{РАЗВ.}\beta} \quad (\text{град/мм}). \quad (4.7)$$

При этом надо учесть, что масштаб шкалы азимута $M_{\text{ШК},\beta}$ изменяется в зависимости от дальности до цели. При нахождении отметки от цели на краю экрана масштаб оценивается как $360^\circ/\pi d_{\text{ЭКРАНА}}$, а при приближении отметки к центру экрана масштаб ухудшается в связи с уменьшением $l_{\text{РАЗВ.}\beta}$, что приводит к ухудшению разрешающей способности по азимуту.

4.3. Порядок выполнения лабораторной работы № 1 «Исследование разрешающей способности РЛС»

1. Изучить принципы построения и работы судовых навигационных радиолокационных станций кругового обзора «SRN 206» и «Лоция», изложенные в приложениях Г и Д.
2. Ответить на тестовые вопросы для самопроверки.
3. Рассчитать по индивидуальному заданию, выданному преподавателем, (приложение В) потенциальную и полную разрешающую способность РЛС по дальности и угловым координатам. Расчет составляющих погрешностей произвести для максимальной, половинной и 10 % дальностей:
4. Произвести под контролем преподавателя включение РЛС указанной преподавателем.
5. Используя данные о параметрах зондирующего сигнала и изображение на экране ИКО произвести оценку) потенциальной и полной разрешающей способности РЛС по дальности и угловым координатам.
6. Построить зависимости полной разрешающей способности РЛС по дальности и угловым координатам от дальности объектов, шкалы индикатора. Проанализировать полученные результаты и сделать подробные выводы.
7. Сделать подробные выводы.

4.4. Содержание отчета по работе

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен на стандартных листах формата А4. Графики должны быть выполнены на миллиметровой или координатной бумаге. Отчет должен включать:

- цель работы;
- задание на работу;
- упрощенную структурную схему РЛС;
- результаты экспериментов и теоретических расчетов;
- выводы по каждому разделу работы.

5. Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ И АЗИМУТА РЛС

5.1. Методические рекомендации по расчету погрешностей РЛС кругового обзора

Рассмотрим систематические и случайные погрешности измерения дальности и азимута в импульсных РЛС кругового обзора.

5.1.1. Систематические погрешности измерения дальности объектов

♦ Погрешность из-за запаздывания сигнала в цепях станции и неодновременности запуска передатчика и индикатора РЛС:

$$\Delta D_1 = c \Delta t_{\text{ЗАПУСКА}} / 2, \quad (5.1)$$

где $\Delta t_{\text{ЗАПУСКА}}$ — временной интервал между моментами запуска передатчика и развертки индикатора.

Для уменьшения этой погрешности в цепь запуска развертки по дальности индикатора включают многоотводную линию задержки, путем подбора которой обеспечивается синхронность запуска. В этом случае ΔD_1 пропорциональна погрешности установки времени задержки ЛЗ, которая определяется минимальной задержкой (0,1—0,05 мкс) между соседними отводами ЛЗ.

♦ Погрешность масштаба дальности, которая обусловлена несоответствием частоты генератора масштабных меток (неподвижных кругов дальности) выбранному масштабу дальности:

$$\Delta D_2 = D_{\text{Ц}} \Delta f_{\text{МЕТ}}, \quad (5.2)$$

где $D_{\text{Ц}}$ — дальность до цели; $\Delta f_{\text{МЕТ}}$ — относительная погрешность установки частоты масштабных меток (не превышает $1 \cdot 10^{-3}$).

♦ Погрешность измерения дальности из-за условий распространения радиоволн в тропосфере. Эта погрешность ΔD_3 возрастает при увеличении дальности до обнаруживаемых объектов. В сантиметровом диапазоне для наземных объектов на дальности до 30 км эта погрешность незначительна и не превышает 3 м [3].

5.1.2. Случайные погрешности измерения дальности объектов

♦ Случайная потенциальная погрешность измерения дальности, обусловленная влиянием шумов, при гауссовом импульсе может быть приблизительно оценена следующим образом:

$$\sigma_{D1} \approx \frac{c \tau_{\text{И}}}{2 q_0 \sqrt{\pi}}, \quad (5.3)$$

где $\tau_{\text{и}}$ — эффективная длительность зондирующего импульса;

q_0 — параметр обнаружения, $q_0 = \sqrt{2E_C/N_0}$, где E_C — энергия сигнала с полностью известными параметрами; N_0 — спектральная плотность шума.

В реальных РЛС энергетическое отношение сигнал/шум ($2E_C/N_0$) обеспечивается не менее 10 при отсутствии внешних искусственных помех.

♦ Случайная погрешность, обусловленная конечными размерами отметки от цели на экране ЭЛТ. Из рисунка 2 видно, что на краях отметки цели возникают зоны понижения яркости (зоны размытости), которые ухудшают точность измерения дальности. Оценка дальности обычно производится оператором по центру отметки цели, поэтому среднеквадратическую погрешность измерения дальности, обусловленная размерами пятна:

$$S_{D2} \approx 0,15 l_{\text{ОТМ}} M_{\text{ШКАЛЫ}}; \quad M_{\text{ШКАЛЫ}} = D/l_{\text{РАЗВ. D}} \quad (5.4)$$

где M_D — масштаб изображения по дальности на экране ЭЛТ, равный отношению выбранного значения масштаба дальности D к длине развертки по дальности на экране ИКО $l_{\text{РАЗВ. D}}$.

♦ Случайная погрешность при измерении дальности по НКД в основном определяется ошибкой интерполяции положения отметки цели между делениями шкалы НКД. Ее среднеквадратическое значение можно оценить как

$$\sigma_{D3} \approx (0,05 \dots 0,15) \Delta l_{\text{ШК D}} M_D, \quad (5.5)$$

где $\Delta l_{\text{ШК D}}$ — расстояние на экране между двумя соседними делениями шкалы дальности (неподвижными кругами дальности). Необходимо учитывать, что в РЛС «Лощия» НКД формируются только на шкале дальности 0,5 мили, а в РЛС «SRN 206» НКД формируются на всех шкалах.

♦ Случайная погрешность измерения дальности по ПКД.

Измерение дальности на остальных шкалах РЛС «Лощия» производится при совмещении электронного подвижного круга дальности (ПКД) с отметкой цели. Значение дальности отсчитывается по шкале отсчетного устройства линейного потенциометра, задающего положение подвижного визира (круга). Ошибка измерения по ПКД включает следующие составляющие:

$$\sigma_{D4} = \sqrt{\sigma_{\text{ИНСТР}}^2 + \sigma_{\text{СОВМ}}^2 + \sigma_{\text{ИНТ}}^2} \quad (5.6)$$

– инструментальную погрешность установки подвижного визира $\sigma_{\text{ИНСТ}}$, которая обычно составляет 0,001 от максимального значения шкалы дальности;

– ошибку совмещения подвижного визира и отметки от цели $\sigma_{\text{СОВМ}}$, которая зависит от размеров пятна ЭЛТ и не превосходит $(0,3 \dots 0,5) d_{\text{П}} M_D$;

– ошибку интерполяции $\sigma_{\text{ИНТ}}$ при считывании дальности по шкале линейного потенциометра, которая составляет 0,3 от цены деления шкалы отсчетного устройства.

Для повышения точности измерения дальности в индикаторных устройствах РЛС используют несколько масштабов индикатора и ЭЛТ с высоким разрешением ($d_{\text{ЭКРАНА}}/d_{\text{П}}$) более 600.

♦ Случайная погрешность из-за условий распространения радиоволн.

В приближении геометрической оптики среднеквадратичная погрешность измерения дальности, обусловленная случайными неоднородностями атмосферы, может быть определена из выражения:

$$\sigma_{D3} = 0,5 \sqrt{\sigma^2(n) D_H D_{Ц}}, \quad (5.7)$$

где $\sigma^2(n)$ — дисперсия показателя преломления в неоднородностях (в тропосфере $\sigma^2(n) = 10^{-9}—10^{-11}$);

D_H — длина пути распространения радиоволн в неоднородностях тропосферы;

$D_{Ц}$ — общая длина пути (дальность до цели).

5.1.3. Систематические погрешности измерения угловых координат

♦ Погрешность из-за неточного совмещения электрической оси диаграммы направленности антенны и луча на экране ИКО из-за наличия механического рассогласования, деформации конструкции антенны.

Эта погрешность зависит от индивидуальной конструкции РЛС, определяются экспериментально и после проведения калибровки не превышают, как правило, $0,2 \theta_{05}$.

5.1.4. Случайные погрешности измерения угловых координат

♦ Потенциальная среднеквадратическая погрешность измерения угловой координаты, обусловленная влиянием амплитудных шумов /1/:

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{\theta_{0,5}}{q_0 \sqrt{\pi}}, \quad (5.8)$$

где $\theta_{0,5}$ — ширина диаграммы направленности на уровне 0,5 по мощности;

q_0 — отношение сигнал/шум для сигнала с полностью известными параметрами.

♦ Погрешность из-за смещения центра изображения относительно центра механической шкалы ИКО:

$$s_{\alpha 2} = \sin(\alpha - \gamma) \frac{360^\circ h}{4p d_{\text{ЭКРАНА}} k_{\text{ЭКРАНА}}} \left[1 + \frac{p (D_{\text{ШК}} - D_{\text{Ц}})}{D_{\text{Ц}}} \right], \quad (5.9)$$

где α — угол, в направлении которого производится оценка погрешности;

γ — азимутальный угол смещения центра развертки, определяется по шкале индикатора;

h — линейная величина смещения центров, мм;

$d_{\text{ЭКРАНА}}$ — диаметр экрана индикатора, мм;

$k_{\text{ЭКРАНА}}$ — коэффициент использования экрана ($k_{\text{Э}} = 0,45$);

$D_{\text{ШК}}$ — предельное значение шкалы дальности, км;

$D_{\text{Ц}}$ — дальность до цели, км.

Этот вид погрешности максимален при разности углов $(\alpha - \gamma) = 90^\circ$.

♦ Погрешность отсчета азимута на индикаторе кругового обзора может быть оценена по формуле

$$S_{аз} = \frac{180^\circ D_{ШК}}{3\rho D_{Ц} d_{ЭКРАНА}} \sqrt{\Delta l_{ШКАЗ}^2 + d_{П}^2}, \quad (5.10)$$

где $\Delta l_{ШКАЗ}$ — расстояние между соседними делениями шкалы азимута, мм;

$d_{П}$ — диаметр пятна ИКО, мм.

♦ Случайная погрешность, из-за условий распространения радиоволн, определяется по формуле:

$$S_{ДЗ} = 0,5 \sqrt{\sigma^2(n) D_{Ц} / D_{Н}}, \quad (5.11)$$

где $\sigma^2(n)$ — дисперсия показателя преломления в тропосфере
 $\sigma^2(n) = 10^{-9} \text{—} 10^{-11}$);

$D_{Н}$ — длина пути распространения радиоволн в неоднородностях тропосферы;

$D_{Ц}$ — общая длина пути (дальность до цели).

5.2. Порядок выполнения лабораторной работы № 2

«Исследование погрешностей измерения дальности и азимута РЛС»

1. Изучить принципы построения и работы судовых навигационных радиолокационных станций кругового обзора «SRN 206» и «Лоция», изложенные в приложениях А и Б.

2. Ответить на тестовые вопросы для самопроверки (п. 2.4).

3. Рассчитать по индивидуальному заданию, выданному преподавателем, (приложение В) систематическую полную погрешность измерения дальности и угловых координат. Расчет составляющих погрешности по азимуту произвести для максимальной, половинной и 10% дальностей. При расчете необходимо учесть, что результирующая систематическая погрешность рассчитывается арифметическим сложением составляющих с учетом знака.

4. Рассчитать по индивидуальному заданию, выданному преподавателем, (приложение В) случайные потенциальную и полную погрешность измерения дальности и угловых координат. Расчет составляющих погрешностей произвести для максимальной, половинной и 10% дальностей. При расчете необходимо учесть, что результирующая случайная погрешность определяется сложением составляющих по квадратичному закону

5. Произвести под контролем преподавателя включение РЛС указанной преподавателем.

6. Используя данные о параметрах зондирующего сигнала и изображение на экране ИКО произвести оценку потенциальной и полной разрешающей способности РЛС по дальности и угловым координатам.

7. Построить зависимости случайных и систематических результирующих погрешностей от дальности объектов, шкалы индикатора. Проанализировать полученные результаты и сделать подробные выводы.

8. Сделать подробные выводы.

5.3. Содержание отчета по работе

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен на стандартных листах формата А4. Графики должны быть выполнены на миллиметровой или координатной бумаге. Отчет должен включать:

- цель работы;
- задание на работу;
- упрощенную структурную схему РЛС;
- результаты экспериментов и теоретических расчетов;
- выводы по каждому разделу работы.

5.4. Контрольные вопросы

1. Каким образом формируется радиальная развертка в индикаторах кругового обзора?
2. Каким образом формируется круговая развертка в индикаторах кругового обзора?
3. В чем отличие формирования круговой развертки в РЛС «Лощия» и «SNR 206».
4. Для чего необходима и как формируется отметка курса на экране ИКО?
5. Каким образом формируется отметка цели на экране ИКО?
6. Какими параметрами определяется потенциальная разрешающая способность по дальности?
7. Какими параметрами определяется потенциальная разрешающая способность по азимуту?
8. Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на разрешающую способность по дальности?
9. Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на разрешающую способность по азимуту?
10. Каким образом формируется отметка цели на экране ИКО?
11. Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на точность измерения дальности?
12. Перечислите факторы, являющиеся источниками систематических погрешностей при измерении дальности и азимута объектов?
13. Перечислите и поясните источники случайных погрешностей измерения дальности.
14. Каким образом формируются электронные неподвижные метки дальности в индикаторах РЛС «Лощия» и «SNR 206»?
15. Каким образом формируются электронная подвижная метка дальности в индикаторе РЛС «Лощия»?

16. Какими факторами обусловлены случайные погрешности измерения азимута?

17. Каким образом формируются отметка курса в индикаторах РЛС «Лощия» и «SNR 206»?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов / П.А. Бакулев. — М.: Радиотехника, 2005. — 320 с.
2. 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.
3. Багдасарян С.И. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник / С.И. Багдасарян, А.И. Маляренко, Я.Д. Ширман ; под ред. Я.Д. Ширмана. — М. : "Радиотехника", 2007. — 512 с.
4. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Под ред. Ю.М. Казаринова.— М.: Высш. школа, 1990. — 496 с.
5. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: учебное пособие для вузов. — Минск: Выш. школа, 1988. — 369 с.
6. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: учебное пособие для вузов. — М: Радио и связь, 1983. — 536 с.
7. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. — М.: Сов. радио, 1977. — 320 с.
8. Лукьянчук А.Г. Основы проектирования радиоэлектронных систем: Методические указания к курсовому проектированию РЛС. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 60 с.: ил.

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 углу места $\Phi_{АЗ}$.

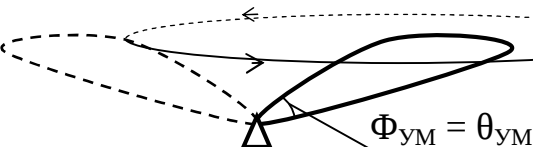
Период обзора $T_{ОБЗ}$ – временной интервал, в течение которого производится просмотр всех участков зоны обзора.

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.

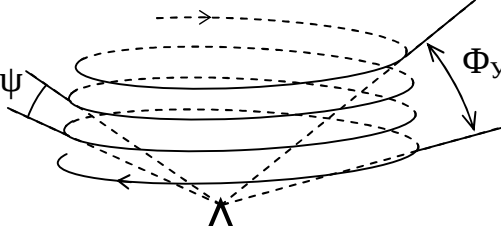
$$\theta_{0,5} \approx 60^\circ \frac{\lambda}{l_A}; \quad T_{ОБЗ.МИН} = \frac{\Phi_{АЗ} \cdot \Phi_{УМ}}{\theta_{АЗ} \cdot \theta_{УМ}} T_{ОБЛ}; \quad n = \frac{T_{ОБЛ}}{T_{И}}.$$

КРУГОВОЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



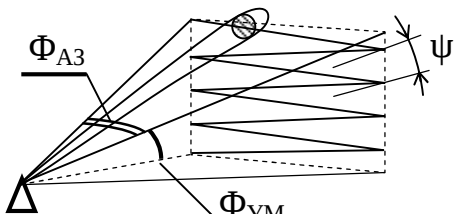
$$T_{ОБЗ} = \frac{360^\circ}{\theta_{АЗ}} T_{ОБЛ} = \frac{360^\circ}{\Omega_{АЗ}}; \quad T_{ОБЛ} = \frac{\theta_{АЗ}}{\Omega_{АЗ}}.$$

ВИНТОВОЙ ОБЗОР ПРОСТРАНСТВА



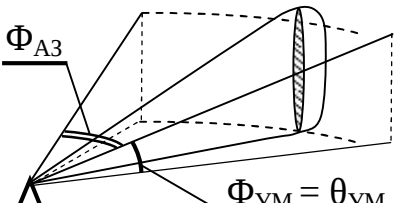
$$T_{ОБЗ} = \frac{360^\circ (\Phi_{УМ} - \theta_{УМ})}{\Omega_{АЗ} \cdot \psi}; \quad \psi = (0,5...0,8) \theta_{УМ}.$$

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

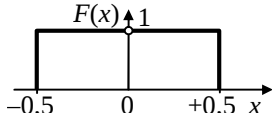
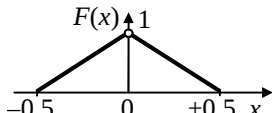
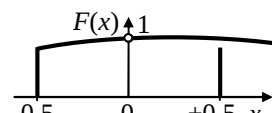
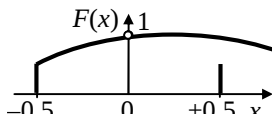
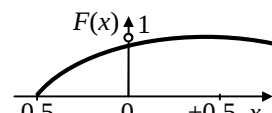
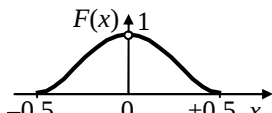
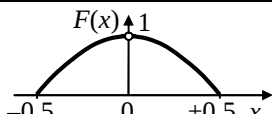
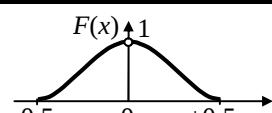
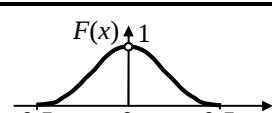
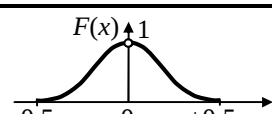
ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ РАСКРЫВОМ

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 ОБНАРУЖЕНИЯ

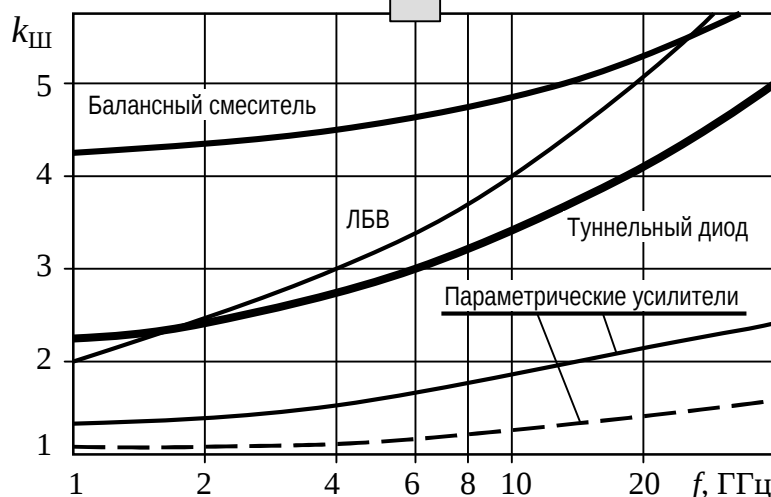
$$P_{\text{пр.мин}} = k T \underbrace{k_{\text{ш}} \Delta F}_{N_0} k_p$$

k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт·с/град)
 T – абсолютная температура РПУ
 ΔF – полоса пропускания РПУ ($\Delta F \approx 1/\tau_{\text{и}}$)
 $k_{\text{ш}}$ – коэффициент шума РПУ

Коэффициент различимости k_p при обнаружении пачки из N_C импульсов:

$$k_p = \frac{q^2}{2N_C} \prod_{j=1}^n \alpha_j,$$

где α_j – потери при приеме и обработке



РАСЧЕТ 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 – $m = 2D/c \tau_{\text{и}}$)	

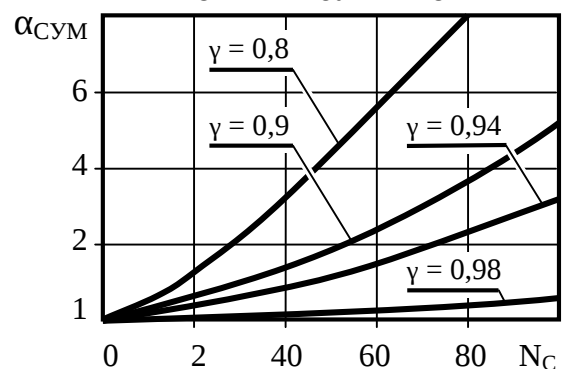
ПРИЛОЖЕНИЕ Б2

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		

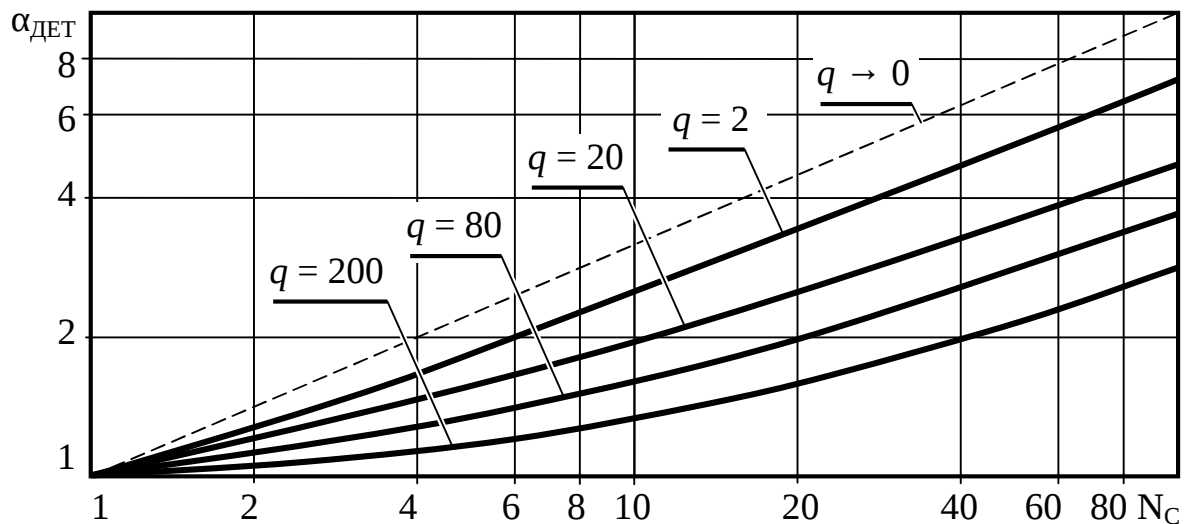
КВАЗИОПТИМАЛЬНОСТЬ ФИЛЬТРА

Радиоимпульс	Фильтр	$\alpha_{\text{КО}}$
Прямоугольный	Прямоугольный	1,21
Прямоугольный	Гауссов	1,26
Гауссов	Гауссов	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 $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,5c\tau_{\text{И}}$	Прямоугольный импульс $\delta(V)_{\text{ПОТ}} = 0,6\lambda/\tau_{\text{И}}$	Прямоугольная пачка $\delta(\beta)_{\text{ПОТ}} = \theta_{0,5}$
Гауссов импульс $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66c\tau_{\text{И}}$ $\tau_{\text{И}}$ – 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 $\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66c\tau_{\text{И}}/k_{\text{СЖ}}$	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
$d(D)_{\text{АВУ}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШКАЛЫ}};$ $M_{\text{ШКАЛЫ}} = D/l_{\text{РАЗВ } D}$	$\delta(V)_{\text{АВУ}} = 0,5\lambda \Delta F_{\text{ФИЛЬТРА}}$	$d(b)_{\text{АВУ}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШК.}};$ $M_{\text{ШК.}} = \Phi(b)/l_{\text{РАЗВ,}\beta}$

ЦИФРОВОЕ ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Описание принципов построения и работы судовой радиолокационной станции «SRN 206»

РЛС «SRN 206» работает в режиме кругового обзора и позволяет определять дальность и курсовой угол береговых ориентиров и надводных объектов. Станция предназначена для установки на малотоннажных судах прибрежного плавания и лоцманских судах характеризуется малыми габаритами, массой (до 40 кг) и потребляемой мощностью (до 150 Вт).

РЛС «SRN 206» имеет следующие основные технические характеристики:

Передатчик

Рабочая частота	9320...9500 МГц
Импульсная мощность, кВт	3 кВт
Длительность импульса, (0,5; 2 миль).....	0,08 мкс
(4; 8; 16; 32 миль)	0,4 мкс
Частота следования импульсов.....	1,5 кГц

Антенна

Размер антенны по азимуту.....	0,9 м
Ширина ДН антенны по азимуту.....	2,6° на уровне 3 дБ
Размер антенны по углу места	0,01 м
Ширина ДН по угу места.....	26° на уровне 3 дБ
Скорость вращения антенны.....	30 об/мин
Уровень подавления боковых лепестков.....	23...26 дБ

Приемник

Общий коэффициент шума	11 дБ
Промежуточная частота.....	60 МГц
Полоса пропускания при $\tau_{\text{И}} = 0,08 \text{ мкс}$	20 МГц
при $\tau_{\text{И}} = 0,4 \text{ мкс}$	5 МГц

Индикатор

Шкалы дальности, 0,5; 2; 4; 8; 16; 32 миль
 Расстояние между НКД на шкалах

Шкала, мили	0,5	2	4	8	16	32
Расстояние между ПКД, мили	0,25	0,5	1	2	4	8
Количество ПКД	2	4	4	4	4	4

Диаметр ЭЛТ 160 мм

Электропитание

Напряжение питания	24...27 В
Потребляемая мощность.....	120...150 Вт

Г.1. Принцип действия РЛС «SNR 206»

Конструктивно РЛС «SRN 206» выполнена в виде двух блоков: приемопередатчика с антенной и индикатора. Упрощенная структурная схема РЛС «SRN 206» изображена на рисунке Г1, а основные временные диаграммы, поясняющие ее работу, представлены на рисунке Г2.

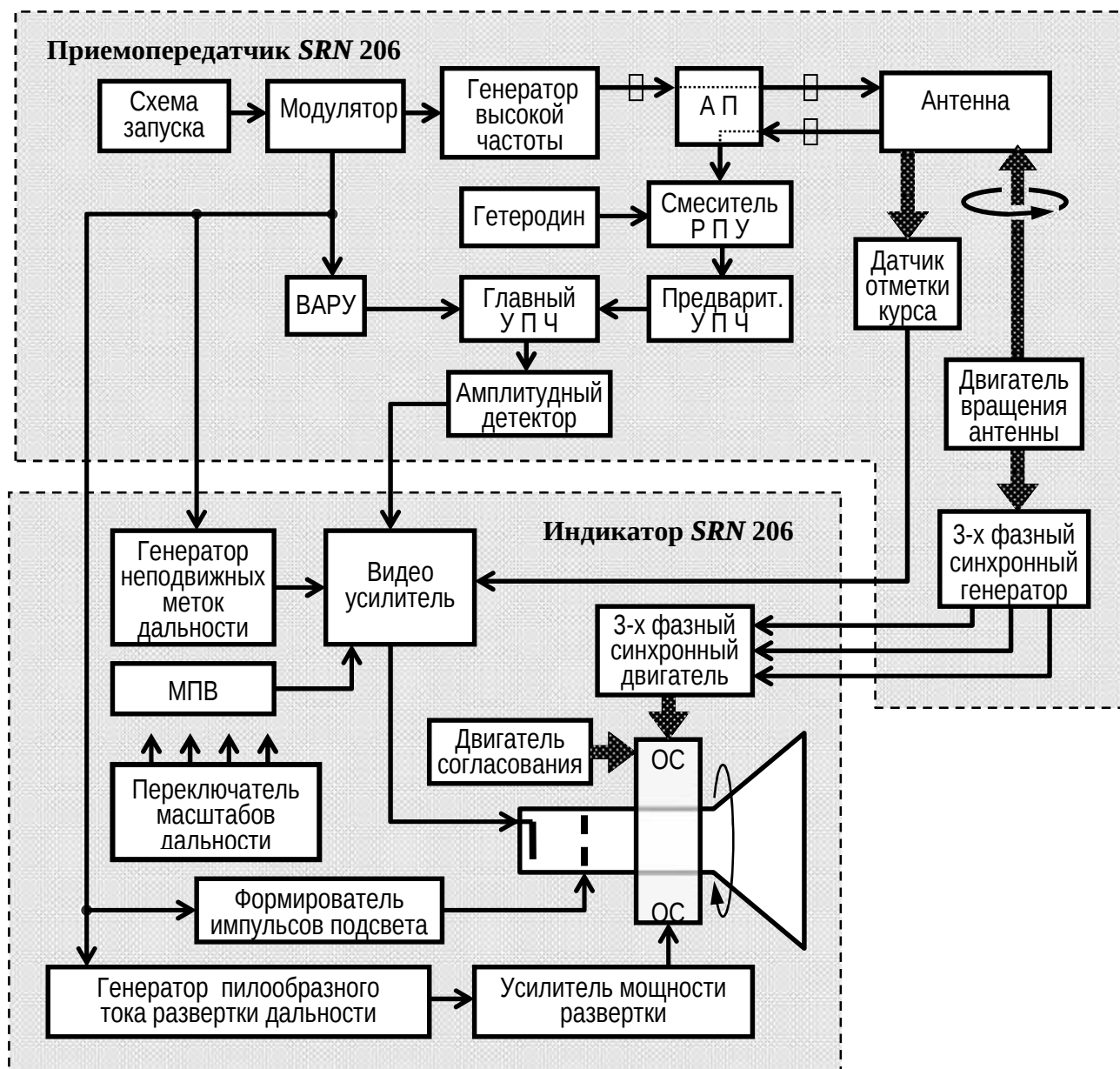


Рис. Г1. Структурная схема судовой радиолокационной станции SRN 206

Станция работает следующим образом. Схема запуска представляет собой импульсный генератор, формирующий импульсы запуска передатчика ($U_{изп}$), частота следования которых составляет 1,5 кГц. Эти импульсы поступают на тиристорный модулятор, формирующий мощные модулирующие импульсы, запускающие магнетронный СВЧ генератор.

Под действием этих мощных модулирующих импульсов генератор высокой частоты (магнетрон М 599 А) формирует высокочастотные радиоимпульсы длительностью 0,08 или 0,4 мкс, которые поступают через волноводный тракт в антенну и излучаются в пространство. Антенный переключатель (АП), выполненный на волноводном Е-тройнике с газовым разрядником во время излучения мощных импульсов передатчика защищает от перегрузки высокочувствительный вход приемника, а после излучения зондирующего импульса подключает антенну к входу приемного устройства.

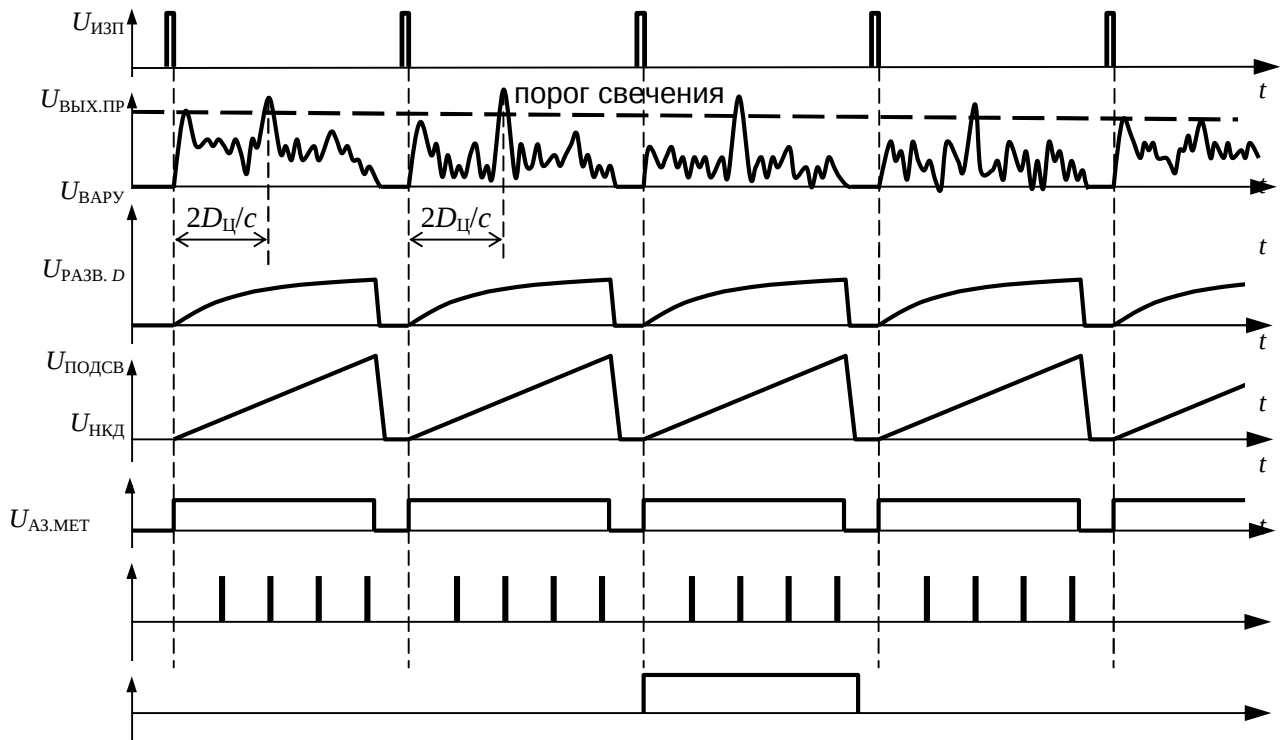


Рис. Г2. Временные диаграммы, поясняющие работу РЛС «SRN 206»

Отраженные от объектов сигналы принимаются антенной и через АП поступают на балансный смеситель приемника, выполненный на двух кристаллических диодах с обратной поляризацией *D405B* и *D405BP*. В качестве гетеродина используется диод Ганна *1N3307B*, частота генерации которого выбрана на 60 МГц выше частоты передатчика, поэтому со смесителя на вход предварительного усилителя промежуточной частоты (УПЧ) поступает сигнал разностной (промежуточной) частоты 60 МГц. В РЛС «SRN 206» применена ручная настройка частоты гетеродина, которая производится по яркости свечения светодиода на передней панели индикатора РЛС.

После усиления в предварительном (двухкаскадном) УПЧ, главном (пятикаскадном) УПЧ и амплитудного детектирования принятые сигналы преобразуются в выходной видеосигнал приемника ($U_{\text{ВЫХ.ПР}}$) и через видеоусилитель поступают на катод ЭЛТ. Видеосигнал изменяет интенсивность электронного луча ЭЛТ, что приводит к появлению яркостной отметки на экране при превышении порога свечения люминофора ЭЛТ.

Большая амплитуда сигналов, отраженных от близкорасположенных объектов, приводит к яркой засветке центра экрана и затрудняет работу оператора. Для исключения этого явления используется временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ). Схема ВАРУ запускается импульсами синхронизации и формирует управляющий сигнал ($U_{\text{ВАРУ}}$), изменяющийся по экспоненте. Этот сигнал запирает УПЧ в момент посылки зондирующего сигнала, а затем постепенно увеличивает коэффициент усиления УПЧ. Таким образом, обеспечивается одинаковая амплитуда сигналов, отраженных от целей, находящихся на разных дальностях.

Для улучшения обнаружения сосредоточенных целей (суда, маяки и т.д.) на фоне распределенной помехи (морская поверхность, линия берега, осадки и т.п.)

используется включение схемы малой постоянной времени (МПВ). При этом в видеоусилителе сигнал пропускается через дополнительную дифференцирующую цепь, которая улучшает выделение коротких импульсных сигналов, имеющую большую крутизну фронтов и малую длительность.

В индикаторе РЛС «SRN 206» используется радиально-круговая развертка.

Радиальная развертка по дальности осуществляется от центра к краю экрана, а круговая развертка по азимуту синхронизирована с вращением антенны.

Для запуска генератора радиальной развертки по дальности ($U_{\text{РАЗВ.D}}$) используются импульсы модулятора передатчика. Это обеспечивает одновременное излучения зондирующего импульса передатчика и запуск радиальной развертки индикатора. Линейное нарастание тока развертки обеспечивает отклонение луча ЭЛТ и равномерное перемещение пятна от центра к краю экрана. Импульсы подсвета ($U_{\text{ПОДСВ}}$) повышают яркость изображения во время прямого хода развертки, а во время обратного хода развертки интенсивность луча ЭЛТ уменьшается и линия развертки на экране гасится. Временное положение импульсов подсвета $U_{\text{ПОДСВ}}$ синхронизируется импульсами запуска передатчика.

Для обеспечения удобства эксплуатации и повышения точности измерения дальности в индикаторе генерируются электронные метки дальности (на шкале 0,5 мили — 2 метки, а на остальных шкалах — 4 метки). Формирование этих меток в виде неподвижных кругов дальности $U_{\text{НКД}}$ на экране ИКО синхронизируется импульсами запуска передатчика $U_{\text{ИЗП}}$.

Развертка по азимуту формируется за счет сельсинной следящей передачи. Сельсинами называют специальные синхронные машины (двигатели и генераторы), которые с помощью электрических сигналов обеспечивают синхронный поворот двух механизмов.

Антенна РЛС «SRN 206» вращается по азимуту со скоростью 30 об/мин электродвигателем постоянного тока со стабилизированным питанием. Вместе с антенной поворачивается ротор трехфазного синхронного генератора (сельсина-датчика), обмотки которого соединены с обмотками ротора трехфазного синхронного двигателя (сельсина-приемника), расположенного в блоке индикатора РЛС. Механический поворот ротора сельсина-датчика на некоторый угол вызывает поворот ротора сельсина-приемника на такой же угол. За счет этого обеспечивается синхронное вращение антенны РЛС и отклоняющей системы на горловине электронно-лучевой трубки.

В процессе кругового обзора при совпадении оси диаграммы направленности антенны со строительной осью судна замыкается магнитоуправляемый контакт механизма вращения антенны и вырабатывается азимутальная метка $U_{\text{АЗ.МЕТ}}$. Импульс метки курса поступает на видеоусилитель, где смешивается с видеосигналом и просматривается на экране ИКО в виде яркой радиальной линии, показывающей ориентацию оси судна.

Для начальной синхронизации направления антенны и направления развертки предназначен дополнительный двигатель согласования, с помощью которого оператор в ручном режиме должен установить положение метки курса на экране индикатора, соответствующее оси судна.

Органы управления РЛС показаны на рис. ГЗ.

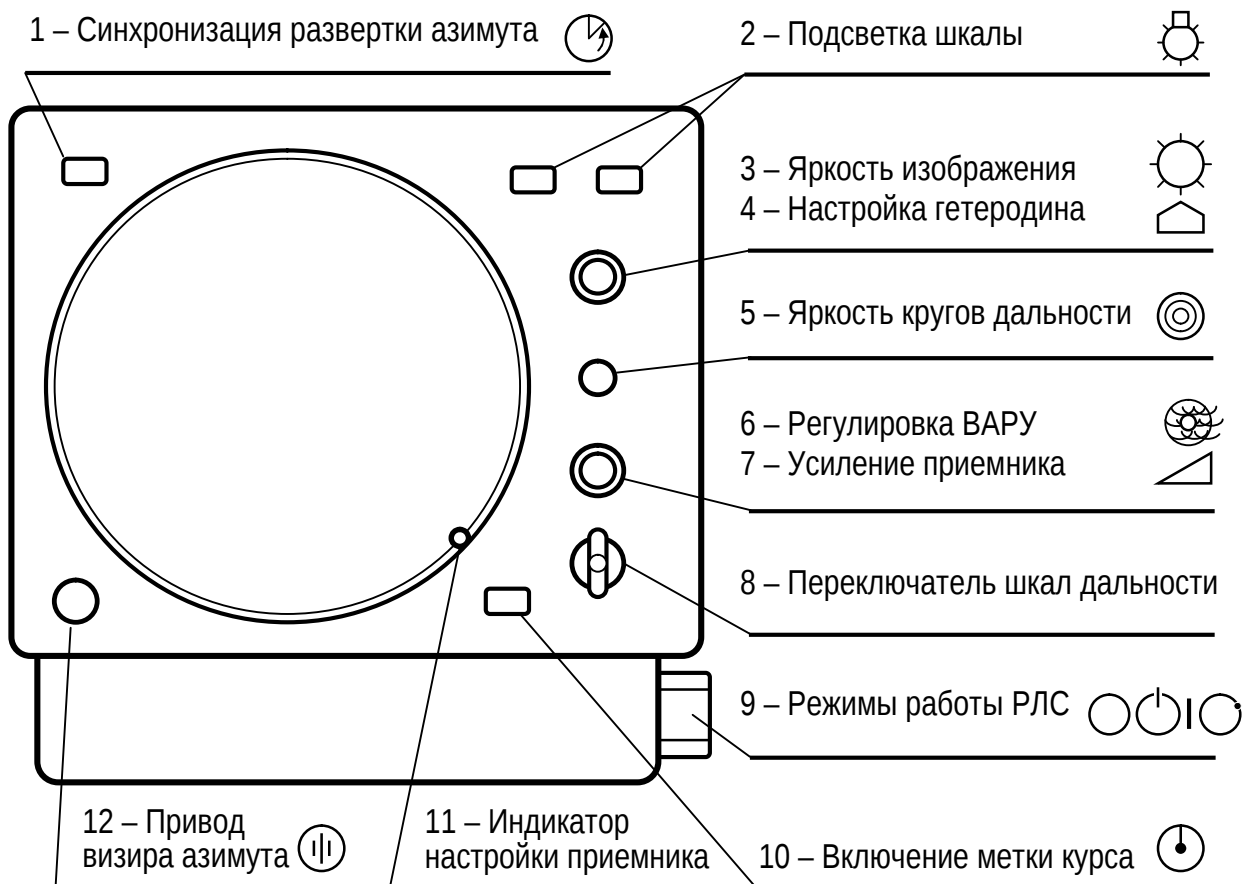


Рис. Г3. Органы управления судовой РЛС «SNR 206»

Г.2. Порядок работы РЛС «SNR 206»

1. Установить переключатель шкал дальности 8 в положение 4 мили, а регулятор яркости 3, регулировки ВАРУ 6 и усиления приемника 7 — в крайне левое положение.

2. Главный переключатель режимов работы 9 перевести из положения «выключено —  » в положение «готовность —  ». Должен загореться индикатор настройки 9, и начинается вращение антенны.

3. Через 2 минуты перевести переключатель 9 в положение «работа — I». При этом РЛС переходит в рабочий режим и включается передатчик.

4. С помощью ручки 3 установить еле видимую яркость линии развертки.

5. Переключателем шкал 8 выбрать требуемую шкалу дальности и установить ручкой 5 минимальную яркость кругов дальности.

6. Произвести синхронизацию развертки по азимуту, нажав кнопку 1 и отпустив её в момент совпадения метки курса с нулевым делением шкалы.

7. Подстроить гетеродин ручкой 4, чтобы индикатор настройки 11 был максимально затемнен. При полном затемнении индикатора 11 во всем диапазоне регулировки ручку 4 следует установить в среднее положение. Окончательную настройку производить через 15 минут работы.

8. Скорректировать яркость изображения, чтобы линии развертки по дальности и шумы были еле видны на экране электронно-лучевой трубки.

Г.3. Дальность обнаружения объектов РЛС «SNR 206»

Дальность обнаружения объектов с помощью РЛС зависит от многих факторов: мощности передатчика, чувствительности приемника, высоты установки антенны, состояния морской поверхности, ЭПР и объекта и его высоты над уровнем моря.

Для РЛС «SNR 206» при высоте установки антенны 5 метров над уровнем моря и при состоянии волнения моря до 2 баллов по шкале Бофорта минимальная дальность обнаружения типовых объектов указана в таблице А1.

Таблица Г.1 — Дальность обнаружения объектов РЛС «SNR 206»

№ п/п	Вид объекта	Дальность обнаружения
1.	Буй	2 морск. мили
2.	Яхта с радиолокационным отражателем	2 морск. мили
3.	Моторная лодка длиной 6 метров	2,5 морск. мили
4.	Судно менее 500 дедвейт	4 морск. мили
5.	Судно 5000 дедвейт	8 морск. миль
6.	Береговая линия высотой 6 метров	4 морск. мили
7.	Береговая линия высотой 60 метров	12 морск. миль
8.	Центры ураганов и фронты осадков	32 морск. мили
9.	Крутой скалистый берег и горы	32 морск. мили

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Описание принципов построения и работы судовой радиолокационной станции «Лоция»

РЛС «Лоция» работает в режиме кругового обзора и позволяет определять дальность и курсовой угол береговых ориентиров и надводных объектов. Станция предназначена для установки на малотоннажных судах и характеризуется малыми габаритами, массой (до 60 кг) и потребляемой мощностью (до 500 Вт).

РЛС «Лоция» имеет следующие основные технические характеристики:

Максимальная дальность действия	16 миль (1 миля – 1,852 км)
Длина волны передатчика	3,2 см
Импульсная мощность (4; 8; 16 миль)	4,5 кВт
(0,5; 1; 2 миль)	2,5 кВт
Длительность импульса (4; 8; 16 миль)	0,3 мкс
(0,5; 1; 2 миль)	0,12 мкс
Частота посылки импульсов (4; 8; 16 миль)	500 Гц
(0,5; 1; 2 миль)	1600 Гц
Размер антенн по азимуту	1,4 м
Размер антенны по углу места	0,01 м
Частота вращения антенны	20 об/мин
Диаметр ЭЛТ	108 мм

Д.1. Принцип действия РЛС «Лоция»

Конструктивно РЛС выполнена в виде пяти блоков: Л.1 – антенный блок, Л.2 – приемопередатчик, Л.3 – индикатор, Л.4 – блок питания, Л.5 – пульт управления и контроля. Упрощенная структурная схема РЛС «Лоция» представлена на рисунке Д1, а временные диаграммы, поясняющие ее работу – на рисунке Д2.

Синхронизатор РЛС, выполненный на блокинг-генераторе, вырабатывает импульсы запуска передатчика ($U_{изп}$) и импульсы синхронизации ($U_{синх}$), запускающие развертку индикатора кругового обзора. Частота импульсов синхронизации зависит от выбранного масштаба дальности и устанавливается переключателем масштабов (см. технические характеристики РЛС).

В ИКО РЛС «Лоция» применена радиально-круговая развертка (см. рис. Д3) с неподвижными отклоняющими катушками.

Для запуска радиальной развертки по дальности используются задержанные импульсы синхронизатора ($U_{синх}$). Задержка на 1,0...1,5 мкс необходима для компенсации запаздывания сигнала в цепях приемопередатчика и запуска развертки индикатора в момент прихода сигнала, отраженного от цели, находящейся на «нулевой» дальности.

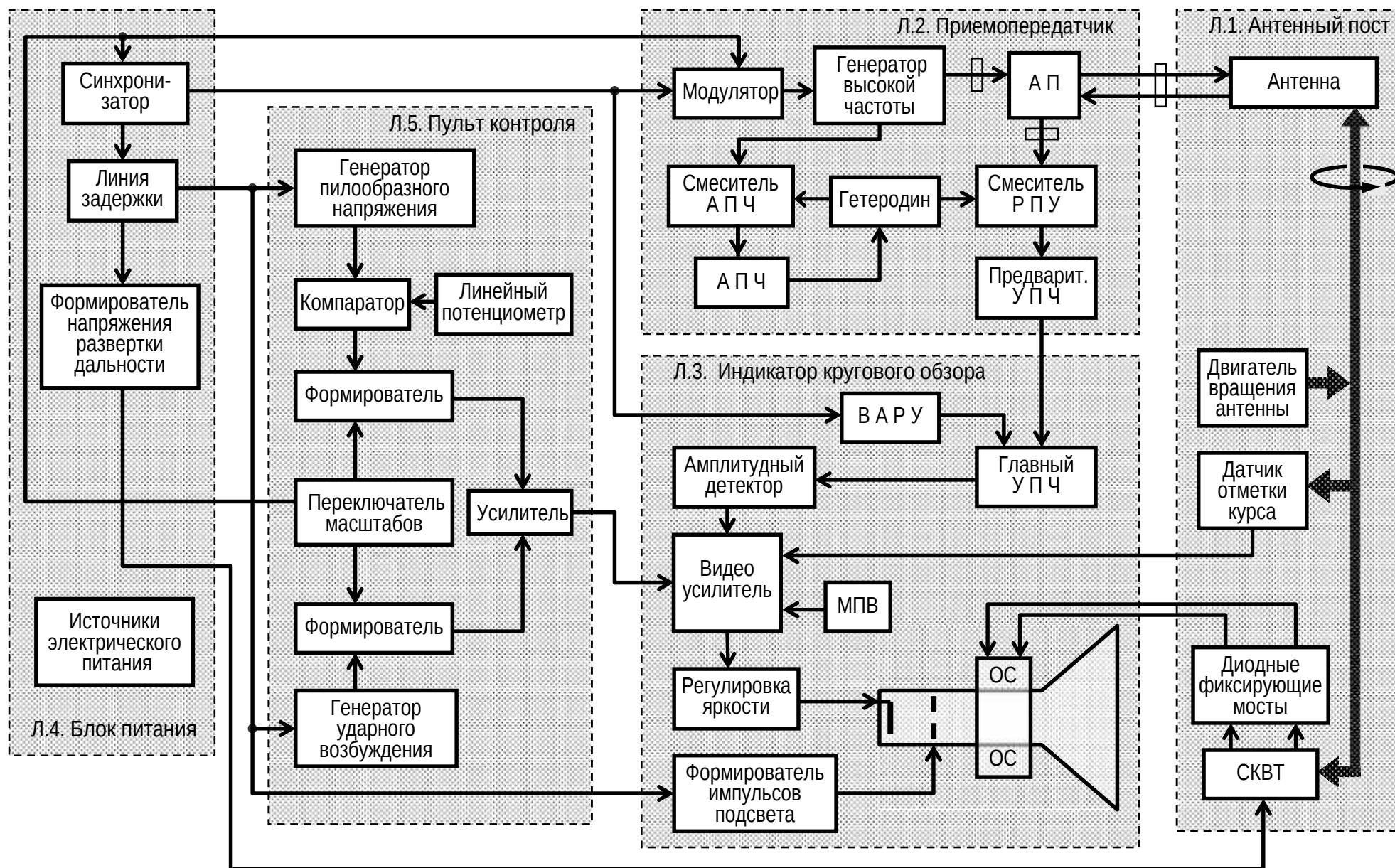


Рис. Д1. Структурная схема судовой радиолокационной станции кругового обзора «Лоция»

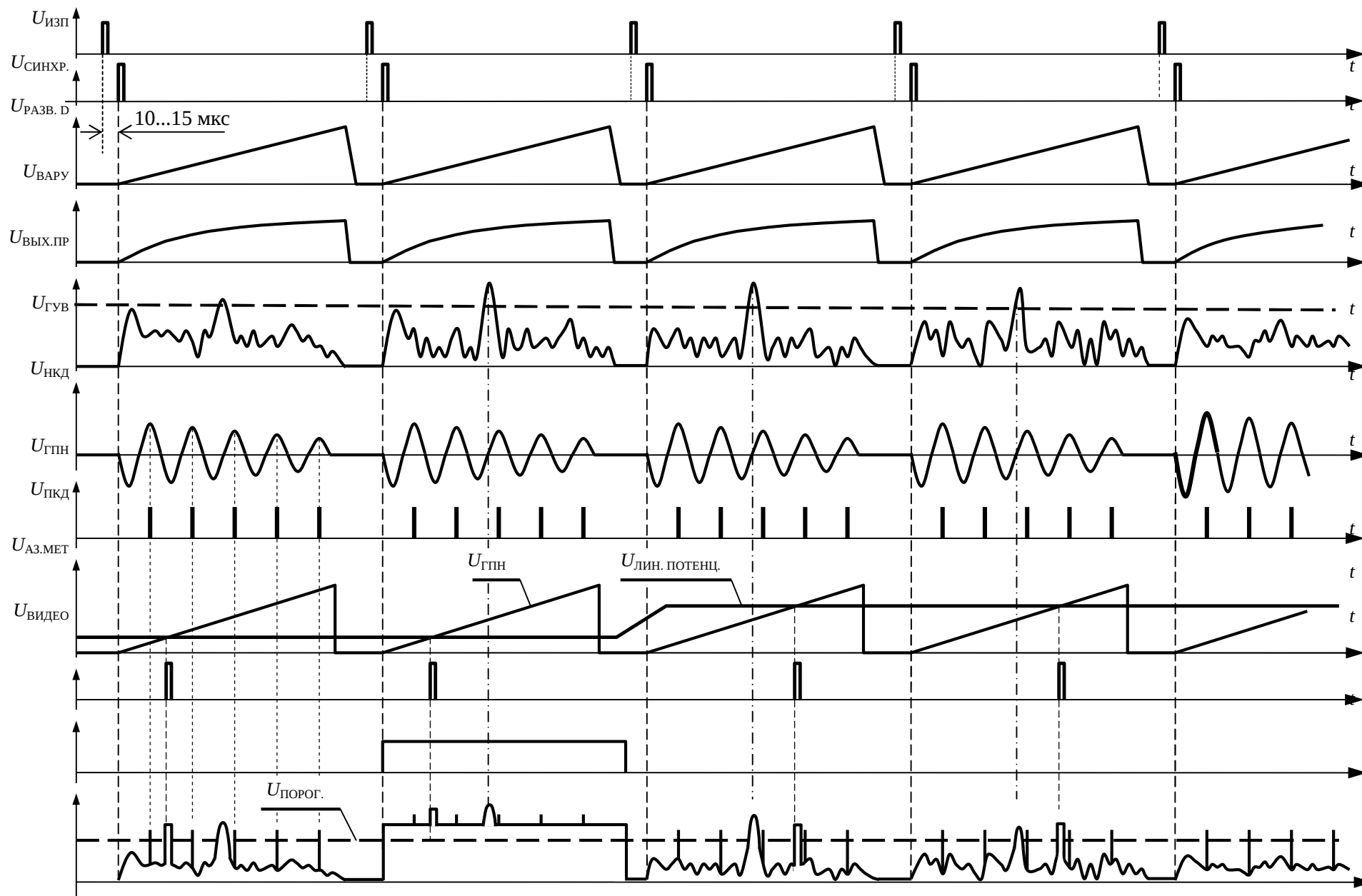


Рис. Д2. Временные диаграммы, поясняющие работу радиолокационной станции кругового обзора «Лоция»

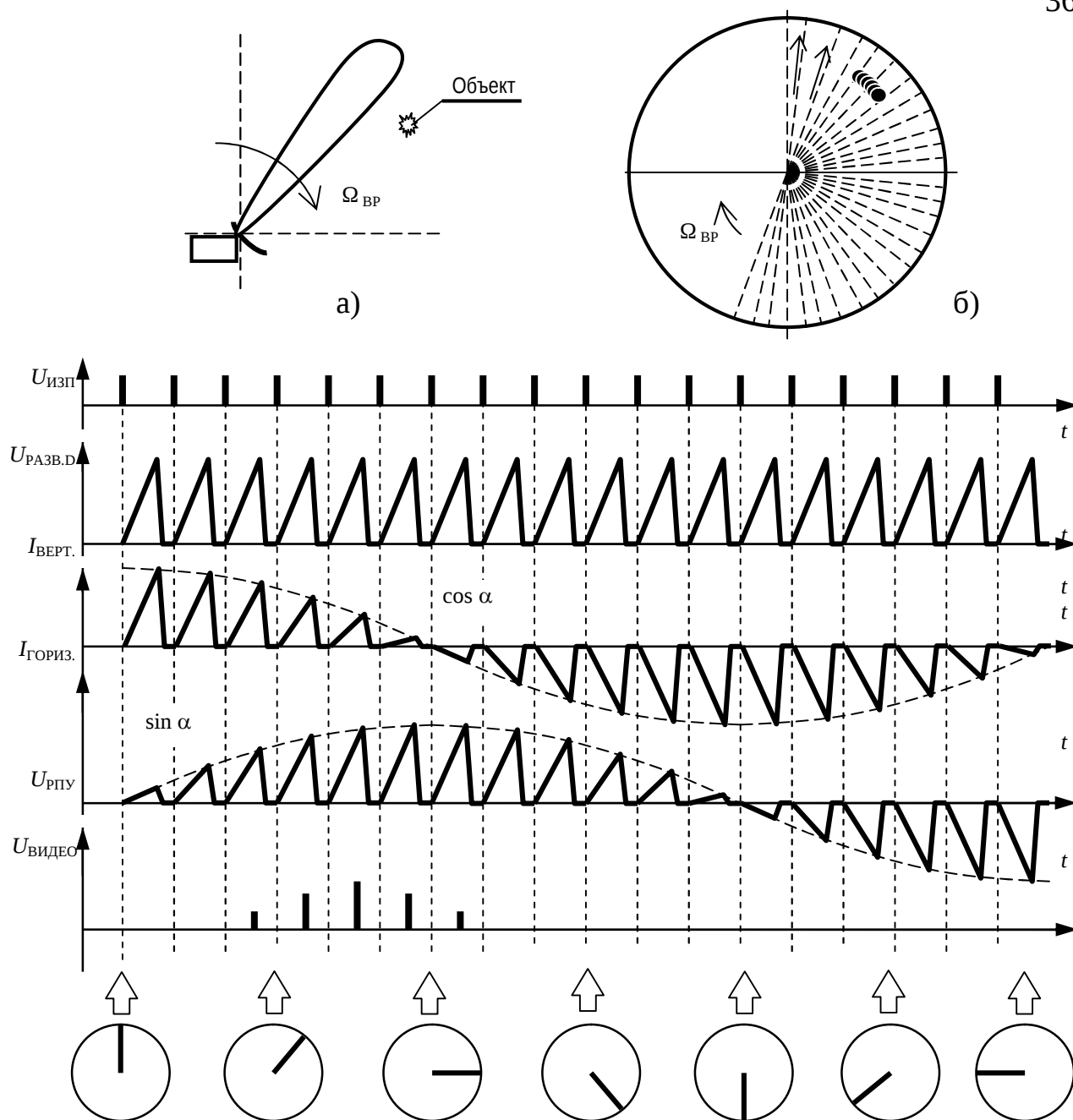


Рис. Д3. Принцип формирования радиально круговой развертки:

- а) перемещение ДН антенны в пространстве; б) вид экрана индикатора кругового обзора;
 в) временные диаграммы, поясняющие формирование отклоняющего тока в неподвижных катушках ЭЛТ ИКО

Для обеспечения линейности радиальной развертки следует использовать генератор пилообразного тока. Но в простых РЛС применяют генераторы синусоидального тока (косинусоидального напряжения – $U_{\text{РАЗВ}}$), используя для развертки по дальности начальный квазилинейный участок синусоиды

Задержанные синхроимпульсы запускают формирователь гармонического напряжения, генерирующий косинусоидальную полуволну напряжения ($U_{\text{РАЗВ}}$). Это напряжение создает в роторной обмотке вращающегося трансформатора (ВТ) полуволну синусоидального тока. При этом в двух взаимно-перпендикулярных статорных обмотках ВТ формируются синусоидальные

импульсы тока ($I_{\text{ВЕРТ}}$ и $I_{\text{ГОРИЗ}}$) различной амплитуды. Амплитуда этих импульсов определяется ориентацией двух взаимно перпендикулярных неподвижных статорных обмоток относительно одной вращающейся роторной обмотки трансформатора.

При круговом вращении антенны по азимуту синхронно с ней поворачивается ротор ВТ и амплитуда импульсов тока на выходах статорных обмоток изменяется (модулируется по амплитуде) по гармоническому закону при линейном изменении угла поворота α антенны. Так как статорные обмотки взаимно перпендикулярны, то модулирующие токи в них сдвинуты по фазе на 90° ($\sin \alpha$, $\cos \alpha$) относительно друг друга. Токи статорных обмоток ВТ ($I_{\text{ВЕРТ}}$ и $I_{\text{ГОРИЗ}}$), через диодные фиксирующие мосты, поступают во взаимно перпендикулярные (вертикальную и горизонтальную) катушки отклоняющей системы ЭЛТ и создают на экране ИКО радиально-круговую развертку (рис. ДЗ)

В качестве развертывающего тока используется только начальная линейная часть синусоидальных импульсов ($I_{\text{ВЕРТ}}$ и $I_{\text{ГОРИЗ}}$) тока. Гашение обратного хода развертки на экране ИКО обеспечивается формирователем импульсов подсвета ($U_{\text{ПОДСВ}}$), которые обеспечивают подсветку только «прямого хода развертки» и синхронизируются импульсами ($U_{\text{СИНХР}}$).

Импульсы запуска передатчика ($U_{\text{ИЗП}}$) поступают на магнитный модулятор, формирующий мощные модулирующие импульсы. Длительность модулирующих импульсов и частота повторения ИЗП изменяются при переключении масштабов дальности (см. технические характеристики РЛС).

Под действием этих мощных модулирующих импульсов генератор высокой частоты (магнетрон) формирует высокочастотные радиоимпульсы. Через антенный переключатель (АП), выполненный на ферритовом циркуляторе, эти радиоимпульсы поступают по волноводному тракту в антенну и излучаются в пространство. В момент излучения мощных импульсов передатчика АП защищает от перегрузки высокочувствительный вход приемника, а после излучения зондирующего импульса подключает антенну к входу приемного устройства.

Отраженные от объектов сигналы принимаются антенной и через АП поступают на смеситель приемника (Смеситель РПУ). В качестве гетеродина приемника используется клистрон, частота генерации которого выбрана на 30 МГц выше частоты передатчика. Поэтому со смесителя на вход предварительного усилителя промежуточной частоты (ПУПЧ) поступает сигнал разностной (промежуточной) частоты 30 МГц. Система АПЧ управляет частотой гетеродина и предназначена для поддержания постоянства промежуточной частоты.

Сигналы, усиленные двухкаскадным предварительным УПЧ и шестикаскадным главным УПЧ, после амплитудного детектирования преобразуются в видеосигнал и через видеоусилитель поступают на катод ЭЛТ. Видеосигнал ($U_{\text{ВИДЕО}}$) изменяет интенсивность электронного луча ЭЛТ, что приводит к появлению яркостной отметки на экране при превышении порога зажигания ЭЛТ.

Большая амплитуда сигналов, отраженных от близкорасположенных объектов, приводит к яркой засветке центра экрана и затрудняет работу оператора. Для исключения этого явления в приемнике используется временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ). Схема ВАРУ запускается импульсами синхронизации и формирует управляющий сигнал ($U_{\text{ВАРУ}}$), изменяющийся по экспоненте. Этот сигнал запирает УПЧ в момент послышки зондирующего сигнала, а затем постепенно увеличивает усиление УПЧ. Таким образом, поддерживается одинаковая амплитуда сигналов, отраженных от целей, находящихся на разных дальностях.

Для улучшения обнаружения сосредоточенных целей (суда, маяки и т.д.) на фоне распределенной помехи (морская поверхность, линия берега, осадки...) используется включение схемы малой постоянной времени (МПВ). При этом в видеоусилителе сигнал пропускается через дополнительную дифференцирующую цепь, которая улучшает выделение коротких импульсных сигналов, имеющую большую крутизну фронтов и малую длительность.

Для обеспечения удобства эксплуатации и повышения точности измерения дальности на экране ИКО формируются электронные метки неподвижных кругов дальности (НКД – на шкале 0,5 мили) или визир подвижного круга дальности (ПКД – на остальных шкалах РЛС).

Формирование НКД производится с помощью генератора ударного возбуждения (ГУВ), который запускается импульсами синхронизации. Затухающие гармонические колебания ГУВ ($U_{\text{ГУВ}}$) после усиления, ограничения и дифференцирования преобразуются в последовательность ($U_{\text{НКД}}$) коротких импульсов ($\tau_{\text{НКД}} \approx 0,1$ мкс), которые смешиваются с видеосигналом и формируют на ИКО шкалу дальности, в виде концентрических окружностей. Частота генератора ударного возбуждения подбирается таким образом, чтобы сформировать на шкале дальности 0,5 мили 5 концентрических окружностей с эквивалентным расстоянием между ними по дальности 0,1 мили.

Для создания подвижного круга дальности (ПКД) используются два напряжения. Первое — пилообразное ($U_{\text{ГПН}}$), которое формируется генератором пилообразного напряжения и запускается импульсами синхронизации. Второе – — постоянное ($U_{\text{лин. потенц.}}$), снимаемое с линейного потенциометра, снабженного верньерным указателем дальности. Эти два напряжения поступают на компаратор и сравниваются по амплитуде. В момент равенства $U_{\text{ГПН}}$ и $U_{\text{лин. потенц.}}$ на выходе схемы компаратора создается короткий импульс ($\tau_{\text{ПКД}} \approx 0,1$ мкс), который после дополнительного формирования смешивается с видеосигналом.

При изменении напряжения $U_{\text{лин. потенц.}}$ смещается во времени момент равенства $U_{\text{ГПН}}$ и $U_{\text{лин. потенц.}}$, поэтому и короткий импульс ПКД сдвигается относительно импульса запуска передатчика, что в свою очередь приводит к изменению радиуса подвижного круга дальности на экране индикатора. После совмещения визира ПКД с отметкой от цели оператор отсчитывает значение дальности до цели по шкале верньерного указателя (позиция 18, рис. Д.4) линейного потенциометра.

В процессе кругового обзора при совпадении оси диаграммы направленности антенны со строительной осью судна замыкается магнитоуправляемый контакт механизма вращения антенны и вырабатывается отметка курса. Импульс отметки курса поступает на видеоусилитель, где смешивается с видеосигналом и просматривается на экране ИКО в виде яркой линии, показывающей ориентацию судна относительно направления на север.

Д.2. Порядок работы с РЛС «Лощия»

Органы управления и контроля РЛС «Лощия» изображены на рис. Д4.

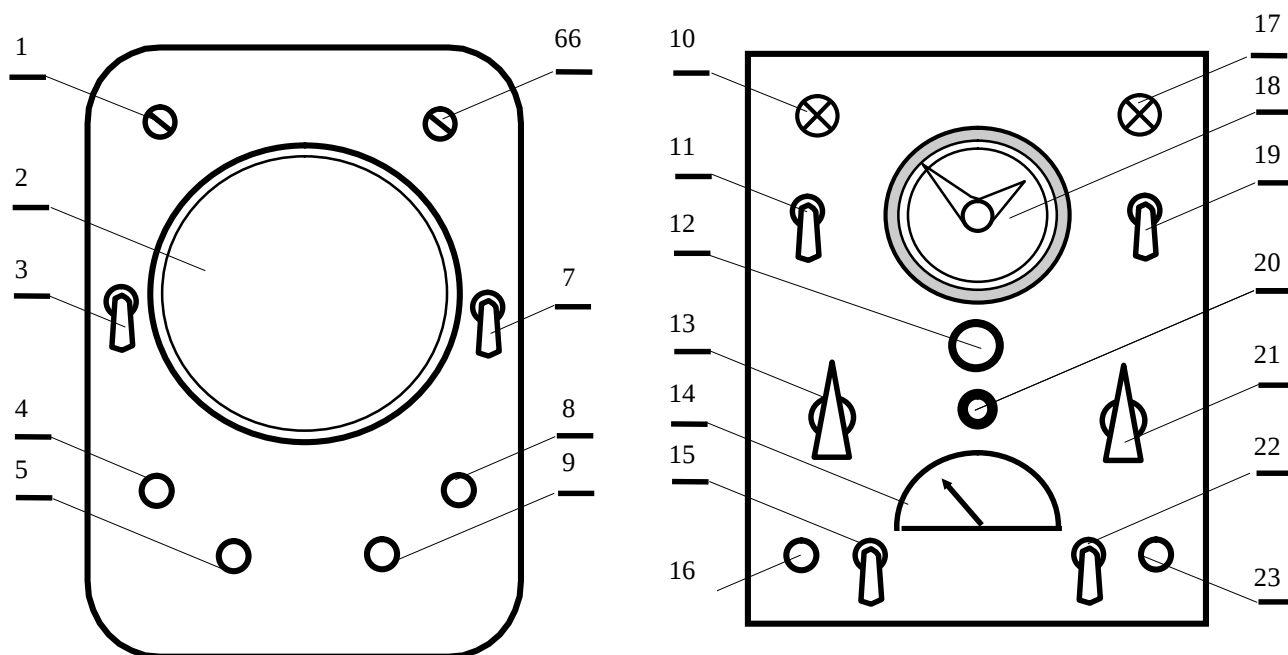


Рис. Д4. Органы управления и контроля блоков Л.3 и Л.5 РЛС «Лощия»:

- 1 – Регулировка «МПВ»; 2 – Экран ИКО; 3 – Включение «МПВ»;
- 4 – Регулировка яркости; 5 – Регулировка подсвета шкалы индикатора;
- 6 – Регулировка длительности ВАРУ; 7 – Включение отметки курса;
- 8 – Ручка регулировки усиления ВАРУ; 9 – Регулировка усиления приемника;
- 10 – Индикация вкл. на подготовку; 11 – Включение РЛС на подготовку;
- 12 – Регулировка положения ПКД; 13 – Переключатель контроля напряжений;
- 14 – Прибор контроля напряжений; 15 – Переключатель «РПЧ-АПЧ»;
- 16 – Ручная подстройка частоты клистрона; 17 – Индикация режима «Работа»;
- 18 – Индикатор положения ПКД; 19 – Включение станции в режим «Работа»;
- 20 – Регулировка яркости ПКД и НКД; 21 – Переключатель масштабов дальности РЛС; 22 – Включение вращения антенны; 23 – Регулировка подсвета шкал прибора

1. Включение индикатора производится тумблерами «Подготовка» 11 и «Работа» 19. Через 40—60 секунд на экране индикатора появляется развертка. Яркость изображения регулируется ручками «Яркость» 4, «Усиление» 9.

2. Контроль напряжений питания осуществляется с помощью измерительного прибора 14 и переключателя 13 на передней панели блока контроля Л.5.

3. При включении тумблера «Вращение антенны» 22 на экране индикатора 2 создается радиально-круговая развертка и формируется отметка курса, индикация которой включается тумблером 7.

4. Яркость электронных меток ПКД и НКД регулируются потенциометром 20. Отсчет положения метки ПКД производится по шкале 18, а перемещение метки ПКД - линейным потенциометром 12.

5. Изменение масштаба дальности РЛС осуществляется переключателем 21. **ВНИМАНИЕ! Для переключения масштабов дальности необходимо предварительно нажать (утопить) ручку переключателя 21.**

Издается в авторской редакции