

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



СУДОВЫЕ РЛС КРУГОВОГО ОБЗОРА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЛС

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ РЛС

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине "Радиоэлектронные системы"
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальности "Радиотехника"

УДК 621.396.9

Судовые РЛС кругового обзора

Исследование разрешающей способности РЛС

Исследование точности измерения координат РЛС

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Радиоэлектронные системы» для студентов дневной и заочной форм обучения / Сост. А.Г. Лукьянчук. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. – 26 с.

Цель указаний: Помочь студентам в изучении принципов построения судовых навигационных РЛС на примере РЛС «Лоция» и «SNR 206», функциональных схем, временных диаграмм, органов управления РЛС. Представлена методика расчета и экспериментального исследования разрешающей способности и погрешностей измерения дальности и азимута объектов в РЛС с индикаторами кругового обзора.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальности "Радиотехника".

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 9 от 26.06.2013 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: А.В. Мельников, канд. техн. наук, доцент.

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

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

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЛС

1.1. 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:

$$D = c t_{\text{зап}} / 2 \quad (1.1)$$

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 (см. рис. 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.

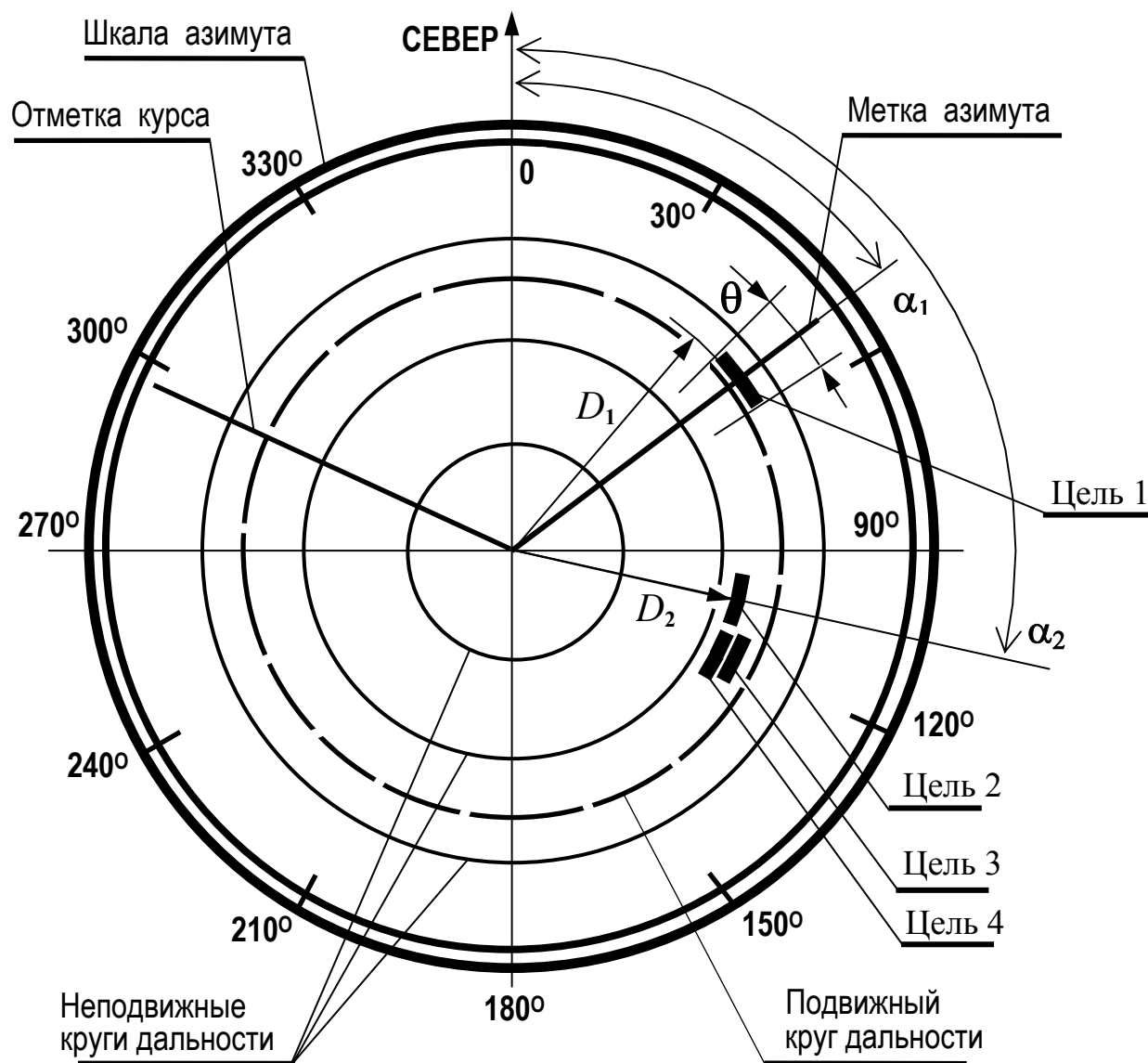


Рисунок 1 — Принцип формирования изображения на экране индикатора кругового обзора

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 рисунке 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.

1.2. 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 (рисунок 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.

Таким образом, можно сделать вывод, что разрешающая способность определяется протяженностью яркостной отметки по соответствующей координате на экране индикатора. Диаграмма, представленная на рисунке 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 $d_{\text{П}}$ ЭЛТ. Первое слогаемое характеризует потенциальную разрешающую способность, а второе — разрешающую способность выходного устройства.

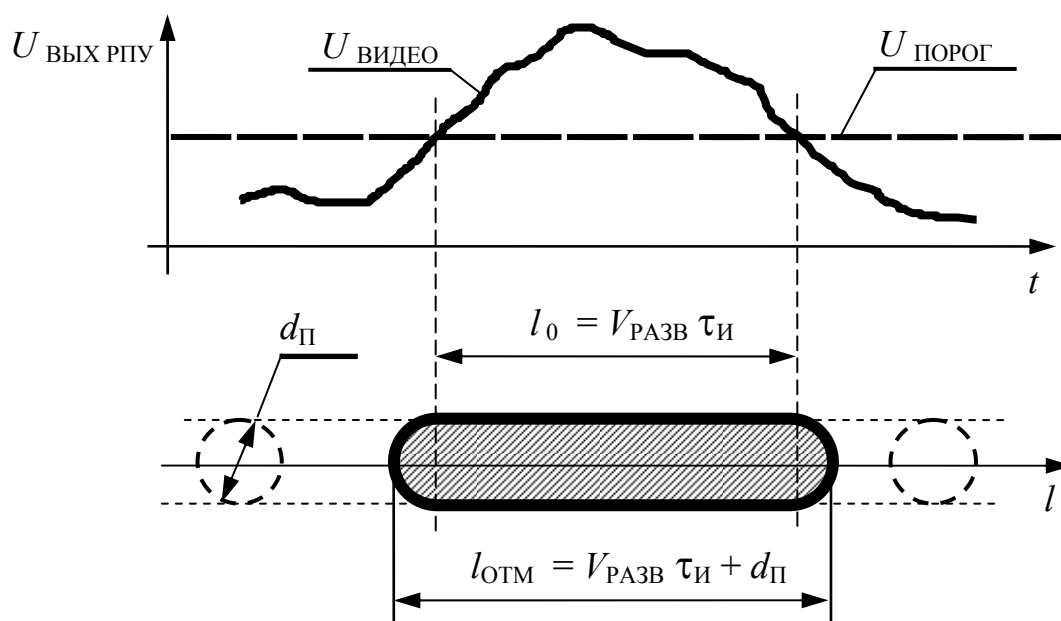


Рисунок 2 – Диаграмма, поясняющая принцип формирования яркостной отметки по дальности на экране индикатора

1.2.1. Методика расчета разрешающей способности РЛС 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 $\delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}}$.

$$\delta(D) \approx \delta(D)_{\text{ПОТ}} + \delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}} \quad (1.2)$$

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:

$$\delta(D)_{\text{ПОТ}} = 0,66 \cdot \tau_{\text{и}}, \quad (1.3)$$

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

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

При этом разрешающая способность выходного устройства:

$$\delta(D)_{\text{ВЫХ.УСТР}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШКАЛЫ}}; \quad M_{\text{ШКАЛЫ}} = D/l_{\text{РАЗВ. D}}, \quad (1.4)$$

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

1.2.2. Методика расчета разрешающей способности РЛС по азимуту

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

$$\delta(\beta) = \delta(\beta)_{\text{ПОТ}} + \delta(\beta)_{\text{ВЫХ.УСТР}} \quad (1.5)$$

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:

$$\delta(\beta)_{\text{ПОТ}} = 1,3\theta_{0,5} \quad (1.6)$$

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

$$\delta(\beta)_{\text{ВЫХ.УСТР}} = d_{\text{П}} M_{\text{ШК.}\beta}; \quad M_{\text{ШК.}\beta} = \Phi(\beta)/l_{\text{РАЗВ.}\beta} \text{ (град/мм)} \quad (1.7)$$

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.

1.3. 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 А и Б.

2. Ответить на тестовые вопросы для самопроверки (п. 1.5).

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.

1.4. 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.

1.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- Каким образом формируется радиальная развертка в индикаторах кругового обзора?
- Каким образом формируется круговая развертка в индикаторах кругового обзора?
- В чем отличие формирования круговой развертки в РЛС «Лоция» и «SNR 206».
- Для чего необходима и как формируется отметка курса на экране ИКО?
- Каким образом формируется отметка цели на экране ИКО?
- Какими параметрами определяется потенциальная разрешающая способность по дальности?
- Какими параметрами определяется потенциальная разрешающая способность по азимуту?
- Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на разрешающую способность по дальности?
- Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на разрешающую способность по азимуту?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ И АЗИМУТА РЛС

2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ПОГРЕШНОСТЕЙ РЛС КРУГОВОГО ОБЗОРА

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

2.1.1. Систематические погрешности измерения дальности объектов

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

$$\Delta D_1 = c \Delta t_{\text{ЗАПУСКА}} / 2, \quad (2.1)$$

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:

$$\Delta D_2 = D_{\text{Ц}} \Delta f_{\text{МЕТ}}, \quad (2.2)$$

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].

2.1.2. Случайные погрешности измерения дальности объектов

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

$$\sigma_{D1} \approx \frac{c \tau_{\text{и}}}{2 q_0 \sqrt{\pi}}, \quad (2.3)$$

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:

$$\sigma_{D2} \approx 0,15 l_{\text{ОТМ}} M_{\text{ШКАЛЫ}}; \quad M_{\text{ШКАЛЫ}} = D/l_{\text{РАЗВ. D}} \quad (2.4)$$

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

$$\sigma_{D3} \approx (0,05...0,15) \Delta l_{\text{ШК D}} M_D, \quad (2.5)$$

где $\Delta l_{\text{ШК D}}$ – расстояние на экране между двумя соседними делениями шкалы дальности (неподвижными кругами дальности). Необходимо учитывать, что в РЛС «Люция» 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 «Люция» производится при совмещении электронного подвижного визира дальности (ПКД) с отметкой цели. Значение дальности отсчитывается по шкале отсчетного устройства линейного потенциометра, задающего положение подвижного визира. Ошибка измерения по ПКД

$$\sigma_{D4} = \sqrt{\sigma_{\text{ИНСТР}}^2 + \sigma_{\text{СОВМ}}^2 + \sigma_{\text{ИНТ}}^2} \quad (2.6)$$

включает следующие составляющие:

- 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 $(0,3... 0,5) d_{\text{П}} M_D$;
- 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 ($d_{\text{ЭКРАНА}}/d_{\text{П}} \approx 600$).

♦ Случайная погрешность из-за условий распространения радиоволн.

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

$$\sigma_{D3} = 0,5 \sqrt{\sigma^2(n) D_H D_{\text{Ц}}}, \quad (2.7)$$

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; $D_{\text{Ц}}$ – общая длина пути (дальность до цели).

2.1.3. 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 $\Delta\alpha_1$ зависит от индивидуальной конструкции РЛС, определяются экспериментально и после проведения калибровки не превышают, как правило, $0,2 \theta_{0,5}$.

2.1.4. Случайные погрешности измерения угловых координат объектов

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

$$\sigma_{\alpha 1} = \frac{\theta_{0,5}}{q_0 \sqrt{\pi}}, \quad (2.8)$$

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:

$$\sigma_{\alpha 2} = \sin(\alpha - \gamma) \frac{360^\circ h}{4 \pi d_{\text{ЭКРАНА}} k_{\text{ЭКРАНА}}} \left[1 + \frac{\pi (D_{\text{ШК}} - D_{\text{Ц}})}{D_{\text{Ц}}} \right], \quad (2.9)$$

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

γ – азимутальный угол смещения центра, 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:

$$\sigma_{\alpha 3} = \frac{180^\circ D_{\text{ШК}}}{3 \pi D_{\text{Ц}} d_{\text{ЭКРАНА}}} \sqrt{\Delta l_{\text{ШКАЗ}}^2 + d_{\text{П}}^2}, \quad (2.10)$$

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

$d_{\text{П}}$ – диаметр пятна ИКО, мм.

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

$$\sigma_{D3} = 0,5 \sqrt{\sigma^2(n) D_{\text{Ц}} / D_{\text{Н}}}, \quad (2.11)$$

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

$D_{\text{Н}}$ – длина пути распространения радиоволн в неоднородностях тропосферы;

$D_{\text{Ц}}$ – общая длина пути (дальность до цели).

2.2. 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 «Люция», 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.

2.3. 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.

2.4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- Каким образом формируется отметка цели на экране ИКО?
- Какие параметры ЭЛТ ИКО влияют на точность измерения дальности?
- Перечислите факторы, являющиеся источниками систематических погрешностей при измерении дальности и азимута объектов?
- Перечислите и поясните источники случайных погрешностей измерения дальности.
- Каким образом формируются электронные неподвижные метки дальности в индикаторах РЛС «Лощия» и «SNR 206»?
- Каким образом формируются электронная подвижная метка дальности в индикаторе РЛС «Лощия»?
- Какими факторами обусловлены случайные погрешности измерения азимута?
- Каким образом формируются отметка курса в индикаторах РЛС «Лощия» и «SNR 206»?
- Существенно ли влияние условий распространения радиоволн на точность измерения азимута и дальности объектов в обзорных РЛС?

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. / Под ред. Ю.М. Казаринова – М.: Высш. шк., 1990. - 496 с.
2. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: Учебное пособие для вузов. – Мн: Выш. шк., 1988.—369 с.
3. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь ,1983. – 536 с.
4. Васин В.В. ,Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Советское радио, 1977. – 320 с.
5. Васильев В.Н. Морская навигационная РЛС «Лощия». – М.: Транспорт, 1984. –120 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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 углу 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 $\tau_{\text{и}} = 0,08$ мкс	20 МГц
при $\tau_{\text{и}} = 0,4$ 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

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 А1, а основные временные диаграммы, поясняющие ее работу, представлены на рисунке А2.

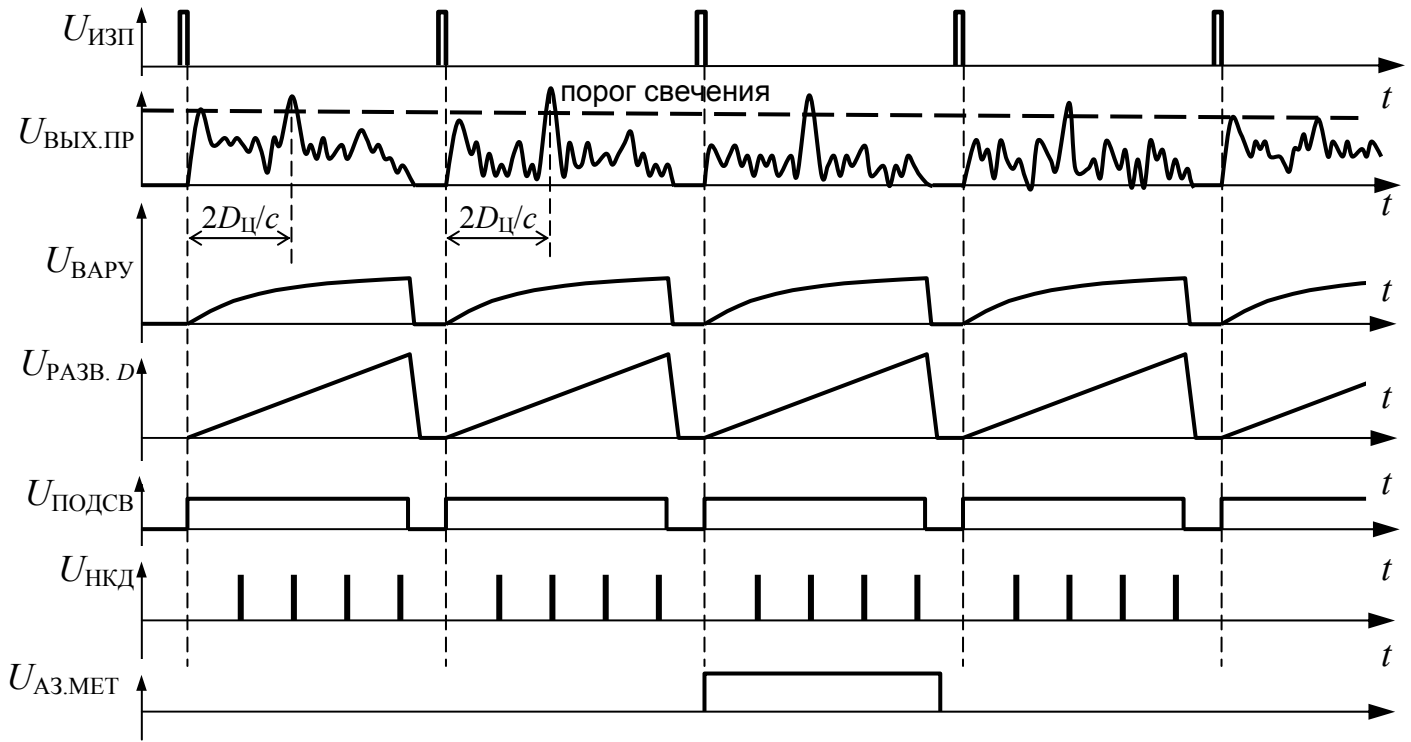


Рисунок А2 – Временные диаграммы, поясняющие работу РЛС «SRN 206»

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 ($U_{ВЫХ.ПР}$) 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 ($U_{ВАРУ}$), изменяющийся по экспоненте. Этот сигнал запирает УПЧ в момент послышки 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 ($U_{\text{РАЗВ.Д}}$) 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 $U_{\text{ИЗП.}}$.

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.

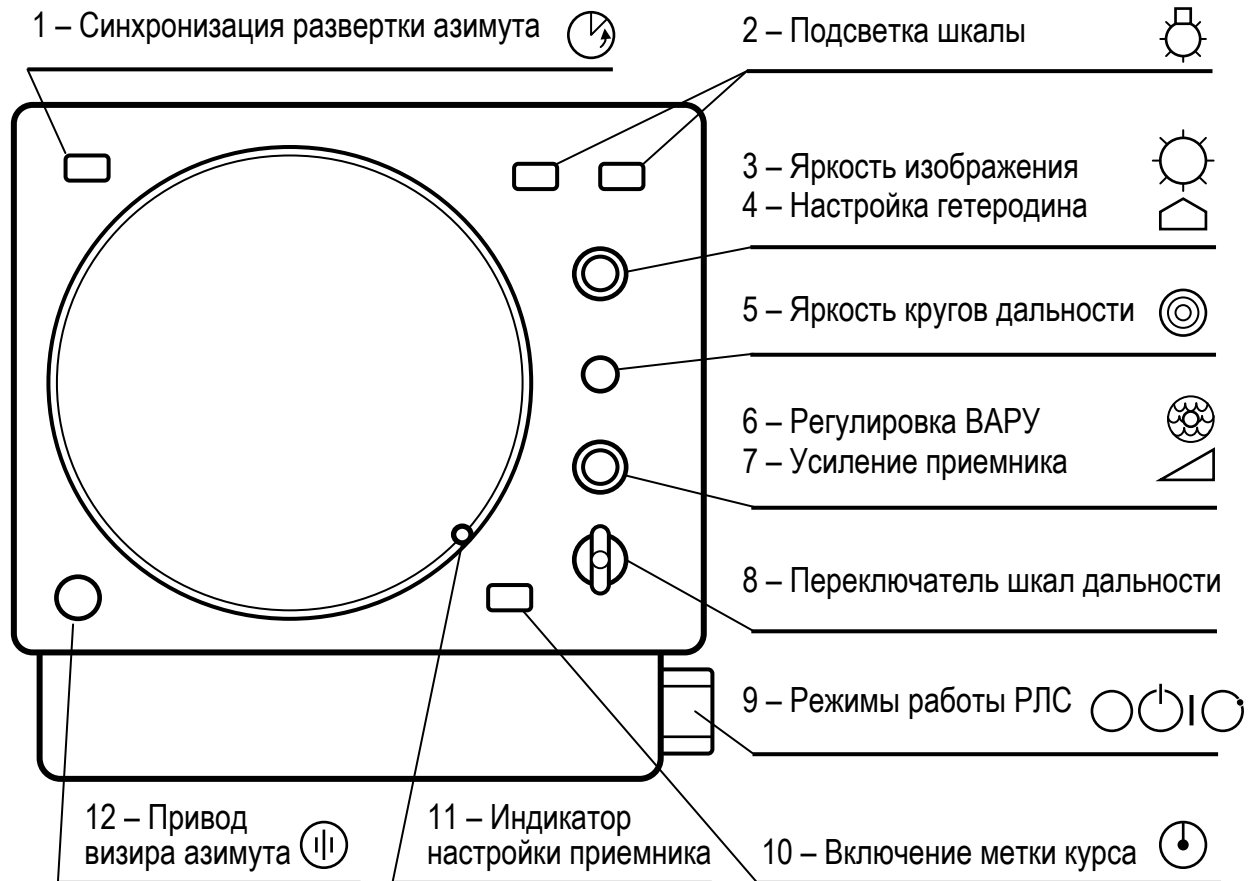


Рисунок А3 – Органы управления судовой РЛС «SNR 206»

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 1,5 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.

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 А.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 500 дедвейт	4 морск. мили
5.	Судно 500 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 Б

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ СУДОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ «ЛОЦИЯ»

РЛС «Лочия» 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 «Лочия» 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).....	0,12 мкс
(0,5; 1; 2 миль).....	0,3 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

Принцип действия РЛС «Лочия»

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 «Лочия» представлена на рисунке Б.1, а временные диаграммы, поясняющие ее работу - на рисунке Б.2.

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 «Лочия» применена радиально-круговая развертка (Рисунок Б.3) 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.

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

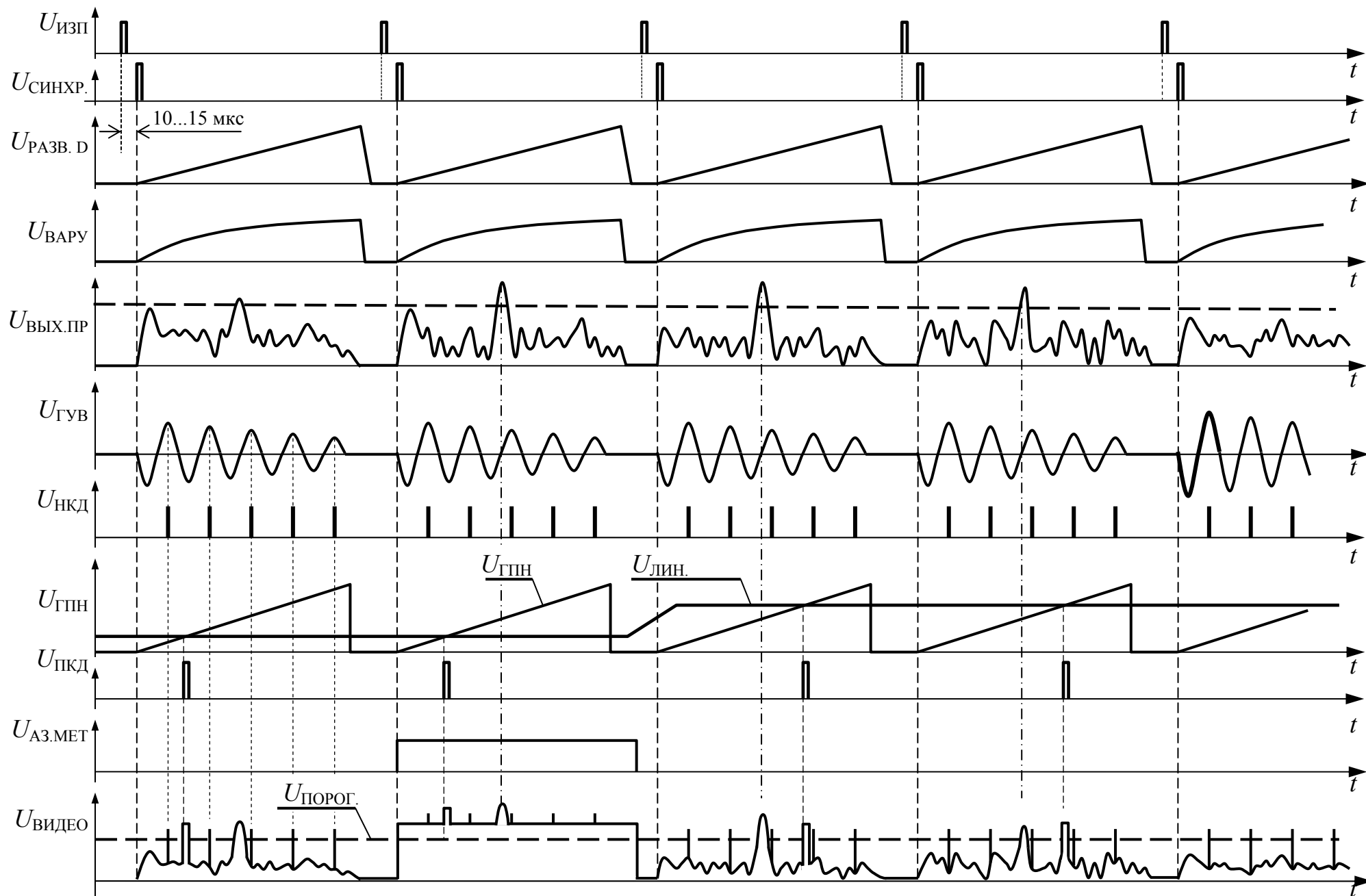


Рисунок Б.2 – Временные диаграммы, поясняющие работу радиолокационной станции кругового обзора «Лощия»

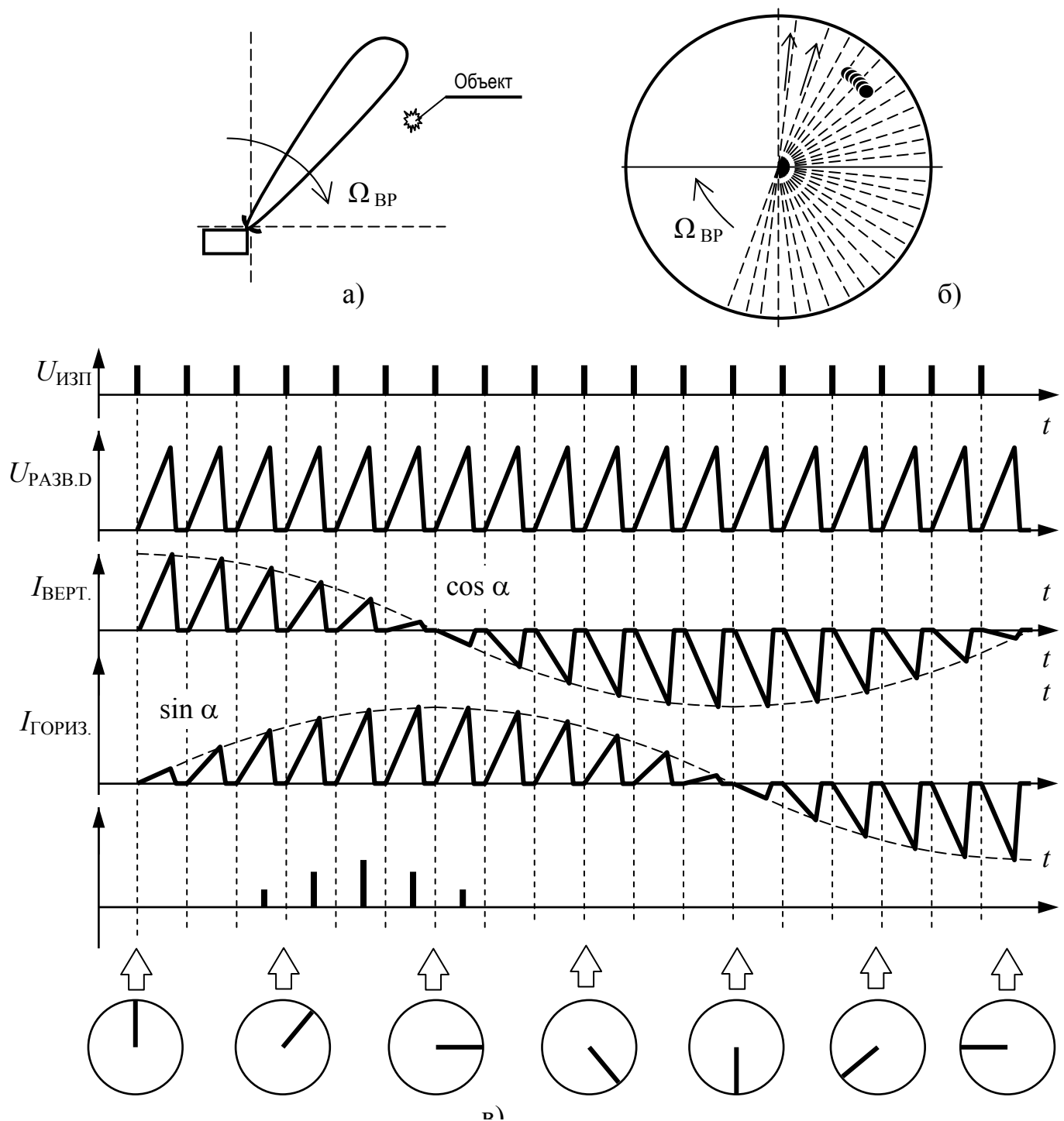


Рисунок Б.3 — Принцип формирования радиально круговой развертки:
а) перемещение ДН антенны в пространстве; б) вид экрана индикатора кругового обзора; в) временные диаграммы, поясняющие формирование отклоняющего тока в неподвижных катушках ЭЛТ ИКО.

Задержанные синхроимпульсы запускают формирователь гармонического напряжения, генерирующий косинусоидальную полуволну напряжения ($U_{\text{РАЗВ.Д}}$). Это напряжение создает в роторной обмотке вращающегося трансформатора (ВТ) полу-волну 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.1.)

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 посылки 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, рисунок 6) 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.

Порядок работы с РЛС «Люция»

Органы управления и контроля РЛС «Люция» изображены на рисунке Б.4.

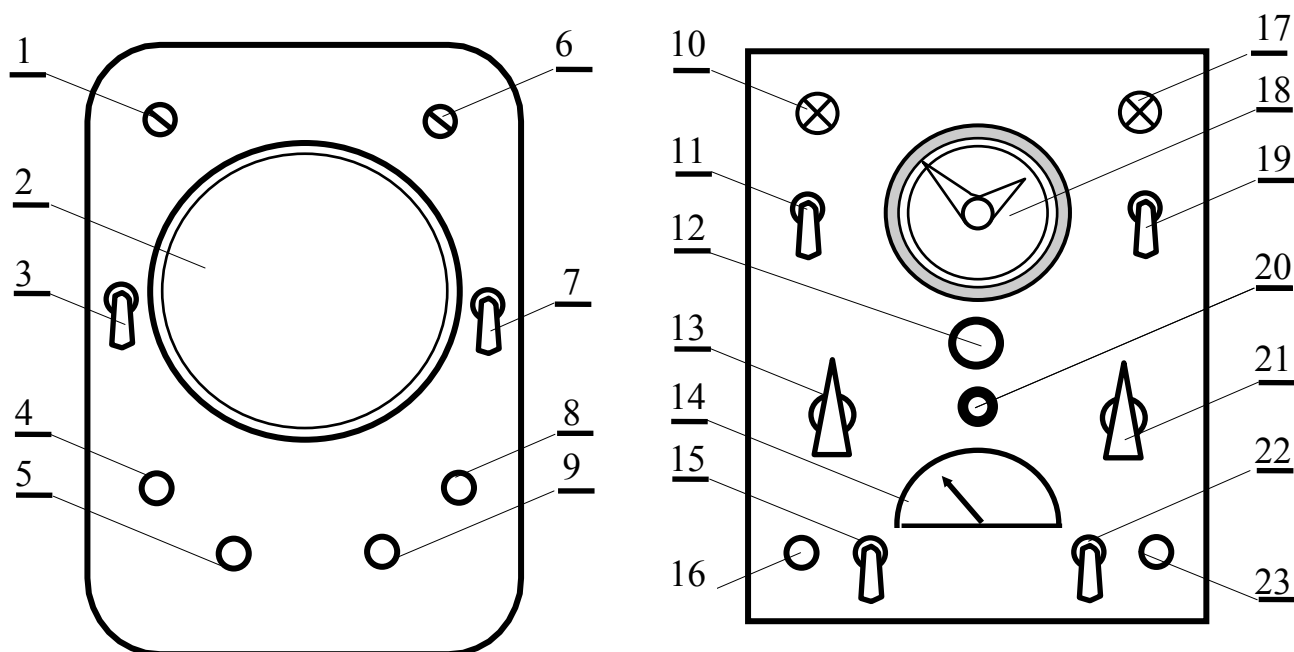


Рисунок Б.4 – Органы управления и контроля блоков Л.3 и Л.5 РЛС «Люция»:

- 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 включения 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 включения 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

В таблице В.1 представлены исходные данные для теоретического расчета разрешающей способности и погрешности измерения РЛС кругового обзора. Номер варианта исходных данных назначается преподавателем

Таблица В.1 – Исходные данные для теоретического расчета

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр экрана $d_{\text{ЭКРАНА}}$, мм	100	150	110	160	120	170	130	180	140	190
Диаметр пятна $d_{\text{П}}$, мм	0,11	0,17	0,15	0,18	0,14	0,19	0,13	0,20	0,16	0,22
Параметр обнаружения q_0	10	21	15	18	20	14	22	17	24	13
Длительность импульса $\tau_{\text{И}}$, мкс	0,10	0,35	0,12	0,30	0,18	0,42	0,20	0,40	0,25	0,50
Количество НКД	4	5	3	4	5	6	3	5	4	6
Размер антенны по азимуту, м	2,0	1,6	1,2	1,7	1,4	1,6	1,1	1,8	1,3	2,0
Максимальная даль- ность, км	10	15	12	18	11	22	16	20	14	30

Заказ № _____ от " ____ " _____ 2013 г. Тираж _____
Издательство СевНТУ