

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего образования**

**«Дальневосточный государственный технический  
рыбохозяйственный университет»**

**(ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»)**

**РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ И РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ  
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

Методические указания по выполнению контрольной работы на тему «Обоснование требований к основным эксплуатационным и техническим характеристикам судовых РЛС» для студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» заочной формы обучения

Владивосток

2017

УДК 629.12.053-83(07)

ББК 39.471.5

Б907

**Рецензент:**

Бакланов Е.Н., доцент кафедры «Судовождение», Дальрыбвтуз

**Булах Е.Г.** Методические указания по выполнению контрольной работы на тему «Обоснование требований к основным эксплуатационным и техническим характеристикам судовых РЛС» для студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» заочной формы обучения. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017, 34 с.

УДК 629.12.053-83(07)

ББК 39.471.5

Б907

© Булах Е.Г. 2017

© Дальневосточный государственный

технический рыбохозяйственный

университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.1 Обоснованные требования к основным эксплуатационным и техническим характеристикам.....	11
1.2 Обоснование частоты излучаемых колебаний (длины волны).....	1
2	
1.3 Обоснование длительности излучаемых импульсов.....	1
5	
1.4 Обоснование частоты следования импульсов и скорости вращения антенны.....	17
1.5 Обоснование необходимой мощности излучения.....	19
1.6 Расчет полосы пропускания и чувствительности приемника.....	22
1.7 Расчет максимальной дальности действия РЛС.....	23
1.8 Расчет минимальной дальности действия, разрешающей способности и точности измерения координат.....	26
Библиографический список.....	19
Приложение 1.....	31
Приложение 2.....	32
Приложение 3.....	33



## **ВВЕДЕНИЕ**

Судовые радиолокационные станции предназначены для обеспечения безопасности мореплавания при пониженной или ограниченной видимости, а также для определения места судна по известным береговым или плавучим ориентирам или с помощью специально установленных радиолокационных маяков-ответчиков.

Количественно способность РЛС обеспечивать выполнение тех или иных задач судовождения характеризуется эксплуатационными параметрами. Основными эксплуатационными параметрами являются:

- максимальная дальность действия;
- минимальная дальность действия или мертвая зона;
- зона и время обзора;
- разрешающие способности по дальности и направлению;
- точность измерения расстояний и направлений (погрешности измерений);
- эксплуатационная надежность;
- помехозащитность и др.

Эксплуатационные параметры в свою очередь определяются техническими характеристиками РЛС:

- длиной волны (частотой запоминания импульсов);
- частотой следования импульсов;
- мощностью передатчика;

- чувствительностью и полосой пропускания приемника;
- формой диаграммы направленности антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- длительностью и формой зондирующих импульсов;
- скоростью обзора пространства;
- типом оконечного устройства (индикатора);
- габаритными размерами и др.

Для обоснования требований к основным эксплуатационным и техническим характеристикам судовой РЛС необходим анализ задач, возлагаемых на РЛС, условий ее применения, учета отражающих свойств целей и кинематических характеристик их движения. Следует также учитывать возможные ограничения в выборе технических показателей РЛС, например, максимально допустимых размеров антенны, допустимого значения средней или импульсной мощности.

На основании перечисленных данных можно выполнить расчет основных эксплуатационных и технических показателей РЛС. Расчет ведется, как правило, методом последовательного приближения с неоднократным уточнением и согласованием значений величины.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

профессиональных (ПК):

ПК-6 - способность нести навигационную ходовую и стояночную вахту на судне;

ПК-11 - владеть теоретическими основами и практическими навыками определения места судна с оценкой точности обсерваций; осознанным применением навигационных карт и средств их отображения;

ПК-21 - владеть навыками действий в аварийных ситуациях и сохранения человеческой жизни на море.

Данные компетенции формируются в соответствии с требованиями МК ПДНВ (Таблица А-П/1 и Таблица А-П/2):

**КОМПЕТЕНТНОСТЬ:** Определение местоположения и точность определения местоположения различными способами

**ЗНАНИЕ, ПОНИМАНИЕ И ПРОФЕССИОНАЛИЗМ:**

Способность определять местоположение судна с использованием радионавигационных средств.

Знание принципов радиолокации и средств автоматической радиолокационной прокладки (САРП).

Умение пользоваться радиолокатором и расшифровывать и анализировать полученную информацию.

## **ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Контрольная работа выполняется каждым студентом индивидуально в соответствии с заданным вариантом исходных данных при консультации руководителя. Закрепленная контрольная работа, состоящая из расчетно-пояснительной записки, должна быть представлена к проверке руководителю в указанный в задании срок. После проверки руководитель осуществляет допуск студента к защите контрольной работы или возвращает на доработку и устранение замечаний. Защита контрольной работы осуществляется в соответствии с графиком, разрабатываемым на курсе и согласованным с кафедрой Судовождения.

Контрольная работа печатается в соответствии со стандартом: через полтора машинописных интервала 14 шрифта «Times New Roman». Размер левого поля – 30 мм, правого – 10 мм, верхнего и нижнего – по 20 мм. Страницы нумеруются последовательно в нарастающем порядке. Оформление работы начинается первой страницей, но она не нумеруется (см. приложение №1).

Оглавление располагается на второй странице и также соответствует стандарту.

На третьей странице указывается номер варианта и исходные данные согласно выданному заданию.

При оформлении основной части работы (которая начинается с третьей страницы) следует учитывать, что каждый структурный



элемент содержания работы: введение, главы, параграфы, список литературы, приложения – нужно начинать с новой страницы. Причем, необходимо соблюдать установленное расстояние между заголовком и следующим за ним текстом. Оно должно быть равно трем одинарным интервалам. Расстояние между буквами и строками заголовка являются такими же, как и в самом тексте. Точка в конце заголовка не ставится. Переносы в словах заголовка и подчеркивание самого заголовка не допускаются, но он выделяется жирным шрифтом.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТами в алфавитном порядке от начальной буквы фамилии автора публикации, или названия источника информации. Кроме того, при оформлении важно учитывать тип источника: монография, публикация в периодическом издании, сборник трудов.

После списка литературы помещаются приложения. Все приложения выполняются на отдельных листах и должны иметь порядковый номер.

В тексте должны быть необходимые графические построения и демонстрационные рисунки, ссылки на используемую литературу. Используемые формулы должны иметь сквозную нумерацию.

Для избегания одной из наиболее часто встречающихся ошибок в расчетах, связанной с неправильным использованием единиц измерений, расчеты рекомендуется проводить в единой международной системе единиц СИ, хотя в некоторых случаях могут быть

оправданы исключения. Например, вычисления по формулам 1, 2 будут более удобными в морских единицах измерений.

Рекомендуется следующая последовательность работы. В первую очередь необходимо четко уяснить задание и исходные данные на выполнение контрольной работы, представленные в Приложении 2.

Оценка за контрольную работу является основанием для сдачи экзамена по дисциплине «Радионавигационные и радиолокационные приборы и системы».

Студент, получивший неудовлетворительную оценку, не допускается к экзамену до устранения задолженности. Защищенные контрольные работы не возвращаются и хранятся в архиве кафедры в течение одного года.

### **Выбор исходных данных**

Исходными данными для выполнения курсовой работы являются:

Скорость судна-носителя РЛС  $V_c$ , уз.

2. Высота установки антенны РЛС на судне  $h_a$ , м.

3. Длина волнового тракта РЛС  $l_b$ , м.

4. Предельные горизонтальные размеры антенны  $d_a$ , м.

5. Скорость судна - цели  $V_c$ , уз.

6. Водоизмещение судна - цели  $P$ , тыс. тонн.

7. Дистанция начала маневра расхождения  $D_{н.м.}$ , миль.

8. Минимальное расстояние между целями, при котором они должны наблюдаться раздельно с заданной вероятностью,  $d_p$ , м.

Заданная вероятность раздельного наблюдения целей  $P_{p.н.}$ .

10. Минимальная дистанция до групповой цели, при которой должно быть заданное разрешение,  $D_p$ , км

Вариант условий наблюдения в соответствии со следующим обозначением цифрами:

очень слабый дождь	0
слабый дождь	1
средний дождь	2
сильный дождь	3
туман при видимости 30 м	4
туман при видимости 50 м	5
туман при видимости 100м	6
туман при видимости 200 м	7
туман при видимости 500 м	8
туман при видимости 1000 м	9

Исходные данные задаются индивидуально каждому студенту руководителем в виде 11-значной цифры, каждый знак которой последовательно позволяет найти необходимые данные в соответствии с таблицей, приведенной в Приложении.

## 1.1 Обоснованные требования к основным эксплуатационным и техническим характеристикам

Дальность действия РЛС является основным эксплуатационным параметром РЛС. Обнаружение встречного судна должно быть своевременным, чтобы был обеспечен необходимый запас рабочего времени на анализ обстановки, выполнение расчетов, принятие решения и его реализацию для выполнения безопасного маневра на расхождение в соответствии с МППСС-72. Исходя из анализа ситуации сближения двух судов можно записать, что необходимая дальность действия должна быть равна

$$D_n \geq D_{н.м.} + (V_c \cos q_c + V_{ц} \cos q_{ц}) \sum_{i=1}^n t_i,$$

где  $D_{н.м.}$  - дистанция начала маневра на расхождение;

$V_c, V_{ц}$  - скорость своего судна и встречной цели соответственно;

$q_c, q_{ц}$  - курсовые углы с судна цель и с цели на судно.

$$\sum_{i=1}^n t_i = t_{обн} + t_{изм_1} + \Delta t + t_{изм_2} + t_{п.д.ц.} + t_{расч} + t_{ком} + t_{м},$$

где  $t_{обн}$  - время, затрачиваемое на принятие решения об обнаружении цели;

$t_{\text{изм1}}, t_{\text{изм2}}$  - время, затрачиваемое на изменение координат цели первый второй и т.д. раз;

$t_{\text{п.д.ц}}$  - время, затрачиваемое на определение условий расхождения и параметров движения цели;

$t_{\text{расч}}$  - время выполнения расчетов необходимого для расхождения;

$t_{\text{ком}}$  - время прохождения необходимых команд;

$t_{\text{м}}$  - время исполнения команды на маневрирование для расхождения.

Полагаем, что суммарное работное время составляет около 10 мин.

Так как значения  $q_c$  и  $q_{\text{ц}}$  априорно неизвестны, будем исходить из наиболее жестких условий, когда суда сближаются встречными курсами:  $q_c = q_{\text{ц}} = 0$ . Таким образом, необходимая дальность действия РЛС должна быть не менее

$$D_n \geq D_{\text{н.м.}} + \sum_{i=1}^n t_i (V_c + V_{\text{ц}}) =$$

м. МИЛЬ

## 1.2 Обоснование частоты излучаемых колебаний (длины волны)

Частота измеряемых колебаний влияет одновременно на несколько эксплуатационных параметров, поэтому необходимо учи-

тывать связь длины волны с этими параметрами для поиска оптимального значения рабочей частоты.

При заданных геометрических размерах антенны длины волны определяет ширину диаграммы направленности антенны. Для зеркальных антенн справедливо соотношение:

$$\theta_{0,5} \approx 60^\circ \lambda / d_a =$$

где  $\theta_{0,5}$  - ширина диаграммы направленности на уровне половинной мощности, град.;

$d_a$  - размер раскрыва антенны в соответствующей плоскости;

$\lambda$  - длина волны, связана с рабочей частотой  $f$  отношением

$$\lambda = c / f =$$

м

где  $c$  - скорость распространения радиоволн.

Для волноводно-щелевых антенн горизонтальные размеры определяют количество щелевых элементов антенны  $N$ , располагаемых на расстоянии  $\lambda_b / 2$  друг от друга:  $N = \frac{d_a}{\lambda_b / 2}$ , от которого в свою очередь зависит ширина диаграммы направленности:

$$N = \frac{d_a}{\lambda_b / 2} =$$

$$\theta_r \approx 101,8 / N =$$

Необходимо учитывать, что длина волны в волноводе  $\lambda_{\text{в}}$  отличается от длины волны в свободном пространстве и для волны типа  $H_{1,0}$  может быть определена по формуле

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2d}\right)^2}} = \quad \text{м}$$

где  $d$  - размер широкой стенки волновода прямоугольного сечения (2,8 см для трехсантиметрового диапазона и 8,7см для десятисантиметрового диапазона).

Ширина диаграммы направленности влияет на потенциальную разрешающую способность по направлению и точность измерения угловых координат

$$r_q = 1,3 \cdot \theta_{\Gamma} =$$

где  $r_q$  - потенциальная разрешающая способность по направлению, град.

Оптимальная частота излучения, при которой требуемая излучаемая энергия будет иметь минимум, может быть оценена с помощью эмпирической формулы, справедливой в области дальностей от 40 до 500 км:

$$f (\text{МГц}) \approx \frac{72753}{D_p^{0,5243}} = \quad \text{МГц}$$

где  $D_p$  - дальность до цели в км;

$f$  - рабочая частота в МГц.

При  $f \geq 5000$  МГц ( $\lambda \leq 6$  см) целесообразно в основу проектируемой РЛС положить диапазон длины волны 3,2 см, в противном случае диапазон длины волны 10 см. Необходимо учитывать, что если длину волны брать больше оптимальной, то необходимая энергия увеличивается относительно медленно, а при уменьшении длины волны по давлению с оптимальной необходимая энергия излучения будет возрастать очень быстро, особенно в условиях сильного дождя и плотного тумана. Однако, с другой стороны, увеличение длины волны неблагоприятно скажется на точностных характеристиках РЛС.

### 1.3 Обоснование длительности излучаемых импульсов

Длительность излучаемых импульсов оказывает влияние на ряд эксплуатационных характеристик станции, особенно на разрешающую способность по дальности, погрешность измерения дальности и мертвую зону станции.

Будем исходить при обосновании длительности импульсов из требования необходимого разрешения двух целей, находящихся на расстоянии  $D_p$  от наблюдателя и расстоянии  $d_p$  друг от друга.

Разрешающая способность по дальности определяется как минимальное расстояние между двумя целями, находящимися на одном направлении, при котором они наблюдаются раздельно и зави-



сит главным образом от длительности импульсов и разрешающей способности электронно-лучевой трубки индикаторного устройства.

Необходимо иметь ввиду, что для раздельного наблюдения двух целей достаточно иметь их разрешение хотя бы по одной координате: по дальности или по направлению. Поэтому будем рассматривать модель ситуации, при которой имеет место предельное положение наблюдаемых целей по разрешению в обеих координатах (рис. 1).

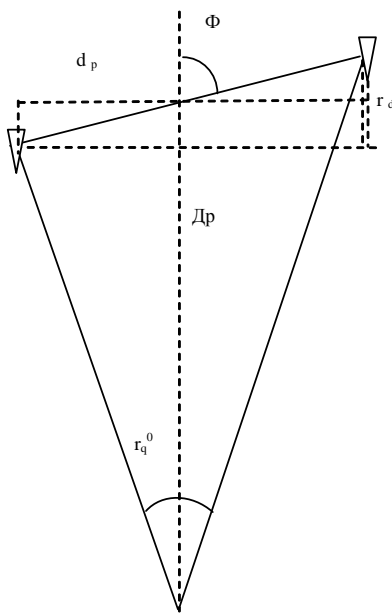


Рис. 1

Необходимая разрешающая способность по дальности

$$r_d = d_p \cdot \cos \Phi_0 = \quad \text{м}$$

Максимально допустимая длительность импульса

$$\tau_u = \frac{4 \cdot r_d}{3 \cdot c} = \quad \text{мкс}$$

#### 1.4 Обоснование частоты следования импульсов и скорости вращения антенны

Частота следования импульсов  $F_{\text{и}}$  выбирается исходя из требования однозначного определения дальности и эффективного обнаружения объектов при работе РЛС в режиме кругового обзора. При этом необходимо учитывать длительность прямого и обратного хода развертки ЭЛТ, скорость вращения антенны и ширину диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости.

Для однозначного определения дальности до объекта необходимо, чтобы период  $T_{\text{и}} = 1/F_{\text{и}}$  повторения зондирующих импульсов превышал длительность  $t_{\text{пр}}$  прямого и  $t_{\text{обр}}$  обратного хода развертки:

$$T_{\text{и}} > (t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}).$$

Длительность  $t_{\text{пр}}$  связана с дальностью действия РЛС зависимостью

$$t_{\text{пр}} = 2 \cdot D_{\text{max}} / c = \quad ; \quad t_{\text{обр}} \leq 0,25 \cdot t_{\text{пр}} =$$

Таким образом можно записать, что

$$T_u \geq \frac{2,5 \cdot D_{\text{max}}}{c} = \quad , \quad F_u \leq \frac{c}{2,5 \cdot D_{\text{max}}} =$$

где  $D_{\text{max}}$  - максимальная дальность по шкале индикатора.

Минимальная частота следования импульсов рассматривается совместно со скоростью вращения антенны и шириной диаграммы направленности антенна исходя из того, что для обнаружения цели с достаточно высокой вероятностью необходимо обеспечить облучение точечной цели определенным количеством импульсов  $N_u$  при каждом приходе антенны направления на цель.

Время облучения точечной цели  $t_{\text{обл}}$  связано с шириной диаграммы направленности  $\theta_z$  в горизонтальной плоскости и угловой скоростью вращения антенны  $\Omega$  в зависимости

$$t_{\text{обл}} = \frac{\theta_z^0}{\Omega} = \quad c$$

Тогда минимальное количество импульсов  $N_u$ , облучающих объект за один проход диаграммой направленности антенны, будет

$$N_u \geq \frac{\theta_z \cdot F_u}{\Omega} =$$

Таким образом, угловая скорость вращения (в градусах в секунду) должна быть

$$\Omega \leq \frac{\theta_z \cdot F_u}{N_u} =$$

или, переходя к количеству оборотов антенны в минуту

$$n \leq \frac{\theta_r \cdot F_u}{6 \cdot N_{и}} =$$

Для достижения высокой вероятности обнаружения и обеспечения необходимой точности измерения координат количество импульсов в пачке должно быть  $N_u = 10 \div 30$ .

## 1.5 Обоснование необходимой мощности излучения

Для оценки необходимой средней мощности излучения  $P_{ср}$  предполагаем, что принимается один сигнал длительностью  $t_{обл.}$ . При этом формула для определения дальности действия РЛС записывается следующим образом:

$$D_{макс.} = \left( \frac{P_{ср} \cdot t_{обл.} \cdot S_a^2 \cdot \bar{\sigma}}{4 \cdot \pi \cdot \lambda^2 \cdot N_{ш} \cdot k \cdot T_0 \cdot K_p} \right)^{0,25} \cdot 10^{-0,05 \cdot \beta \cdot D_{макс.п.} \cdot 10^{-3}}.$$

Разрешив это выражение относительно  $P_{ср}$ , находим формулу для обоснования необходимой средней мощности излучения:

$$P_{\text{ср}} \geq \frac{4 \cdot \pi \cdot \lambda^2 \cdot N_{\text{ш}} \cdot T_0 \cdot K_{\text{р}} \cdot k}{t_{\text{обл}} \cdot S_{\text{а}}^2 \cdot \bar{\sigma}} \cdot D_{\text{макс.п.}}^4 \cdot 10^{0,2 \cdot \beta \cdot D_{\text{макс.п.}}} \cdot 10^{-3} =$$

= Вт.

Так как третий множитель примерно равен 1, принимаем  $P_{\text{ср}}$  больше или равно произведению первого и второго множителей. Коэффициент шума  $N_{\text{ш}}$  для радиолокационных приемников, не имеющих усилителей высокой частоты, лежит в пределах от 30 до 150, коэффициент распознавания  $K_{\text{р}}$  зависит от заданной вероятности правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги и рекомендуется выбирать в пределах от 1 до 2.

Эффективная площадь антенны  $S_{\text{а}}$  связана с коэффициентом усиления антенны по мощности  $G$  соотношением

$$S_{\text{а}} \approx \lambda^2 \cdot G / 4 \cdot \pi \approx 2800 \cdot \lambda^2 / \theta_z \cdot \theta_g =$$

где  $\theta_z$  и  $\theta_g$  - ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.  $\theta_g$  для судовых РЛС имеет значение около  $20^\circ$ ,  $\theta_z$  - рассчитано ранее в зависимости от горизонтального размера антенны.

Эффективную поверхность рассеяния  $\bar{\sigma}$  в зависимости от водоизмещения наблюдаемого объекта  $P$  можно оценить по эмпирической формуле

$$\bar{\sigma} = 52\sqrt{f \cdot P^3} =$$

где  $f$  - рабочая частота в МГц;

$P$  - водоизмещение судна в тыс. тонн.

Коэффициент пространственного затухания  $\beta$  зависит от рабочей частоты и наличия тумана и осадков.

Для трехсантиметрового диапазона при отсутствии или наличии осадков в виде дождя

$$\beta = 0,012 + 0,02S_{\text{д}},$$

а для десятисантиметрового диапазона

$$\beta = 0,007 + 0,0006S_{\text{д}},$$

где  $\beta$  - коэффициент затухания, дБ/км;

$S_{\text{д}}$  - интенсивность дождя, мм/ч.

В условиях тумана для оценки  $\beta$  можно пользоваться эмпирическими формулами:

$$\beta = 0,012 + \frac{2}{B} = \quad \text{- для трехсантиметрового}$$

диапазона

$$\beta = 0,007 + \frac{0,1}{B} \quad \text{- для десятисантиметрового диапазона,}$$

где  $B$  – дальность видимости в тумане, м.

Рассчитав необходимую среднюю мощность  $P_{cp}$  и учитывая, что  $P_{cp} \cdot T_u = P_u \cdot \tau_u$ , можно определить необходимую импульсную мощность излучения

$$P_u = P_{cp} \cdot \frac{T_u}{\tau_u} = \frac{P_{cp}}{F_u \cdot \tau_u} = \quad \text{кВт}$$

В целях недопущения значительного вредного влияния излучения на окружающую среду нежелательно, чтобы импульсная мощность излучения превышала 30-50 кВт.

## 1.6 Расчет полосы пропускания и чувствительности приемника

За чувствительность приемника в радиолокации принимается пороговая мощность сигнала на входе приемника, превышение которой дает необходимый для обнаружения выходной эффект. Она определяется в основном мощностью внутренних импульсов приемника

$$P_{пр \min} = k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{ш} \cdot K_p = \quad \text{Вт}$$

$k$  - постоянная Больцмана, характеризующая приращение энергии шумов на единицу полосы пропускания при повышении температуры на  $1^0$  и равная  $1,37 \cdot 10^{-23}$  Дж/к;

$T$  - температура приемника в градусах Кельвина ( $273^0$ );

$\Delta f$  - полоса пропускания приемника, Гц;

$N_{ш}$  - коэффициент шума приемника;

$K_p$  - коэффициент распознавания.

Оптимальная полоса пропускания приемника для выбранной длительности импульса  $\tau_u$  определяется из соотношения:

$$\Delta f = \frac{1,37}{\tau_u} = \text{МГц}$$

Коэффициент шума  $N_{ш}$ , как было уже сказано выше, выбирается для приемников без усилителей высокой частоты в пределах от 30 до 150 и зависит от качества приемника.

### 1.7 Расчет максимальной дальности действия РЛС

Для расчета максимальной дальности действия РЛС обратимся к уравнению:

$$D_{\text{макс.}} = 4 \sqrt{\frac{P_u}{P_{np \text{ min}}} \cdot \eta^2 \cdot \frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \bar{\sigma}}{(4\pi)^3} \cdot 10^{-0,05 \cdot \beta \cdot D_{\text{макс.п.}} \cdot 10^{-3}}},$$

где  $\eta$  - коэффициент полезного действия антенно-волноводного тракта, учитывающий потери в волноводе и зависящий от его длины  $\ell_e$  и коэффициента затухания в волноводе  $\beta_e$ :

$$\eta = 10^{-0,1 \cdot \ell_e \cdot \beta_e} =$$



Для латунных волноводов 10-сантиметрового диапазона коэффициент затухания составляет 0,062 дБ/м, для волноводов 3-сантиметрового диапазона - 0,23 дБ/м.

При расчете коэффициента направленности антенны воспользуемся соотношением

$$G = \frac{41253}{\theta_2^0 \cdot \theta_6^0} =$$

где ширина диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях выражены в градусах.

Для расчета коэффициента пространственного затухания  $\beta$  в зависимости от условий используются формулы (18, 19, 20, 21).

Уравнение для расчета дальности действия с учетом потерь можно представить в следующем виде:

$$D_{\text{макс.п.}} = D_{\text{макс}} \cdot 10^{-0,05 \cdot \beta \cdot D_{\text{макс.п.}} \cdot 10^{-3}}.$$

Так как это уравнение трансцендентное, будем решать его графоаналитическим путем. Введем замену переменных

$$D_{\text{макс.п.}} / D_{\text{макс}} = x; \quad 0,05 \cdot \beta \cdot D_{\text{макс}} = a,$$

и прологарифмируем, в результате получим новое уравнение

$$\log x = -a \cdot x.$$

$$a = 0,05 \cdot \beta \cdot D_{\text{макс}} =$$

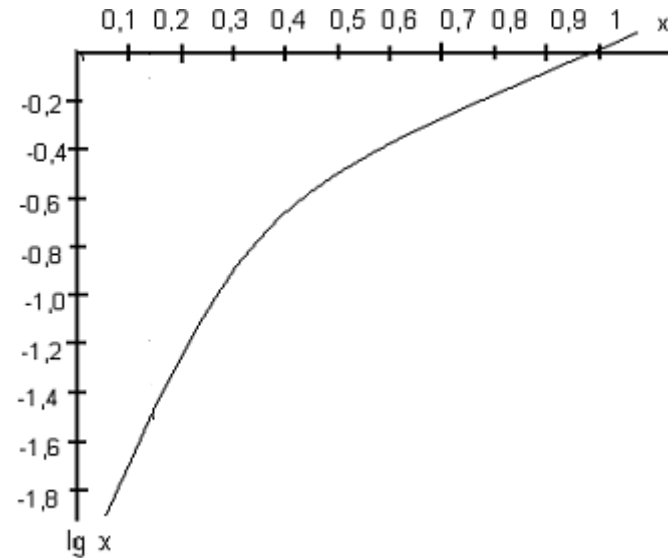


Рис.2

Так как  $x < 1$ , задаемся значениями  $x$  от 0,01 до 1, вычисляем кривую  $y_1 = \log x$  и прямую  $y_2 = -ax$  и наносим по точкам их на график, как показано на рис. 2. По точке пересечения графиков находим искомое значение  $x$  и определяем

$$D_{\text{макс.п.}} = x \cdot D_{\text{макс}} =$$

Полученное значение максимальной дальности действия не должно существенно отличаться от ранее обоснованной необходимой дальности действия, в противном случае необходим анализ выбранных ранее параметров и их уточнение.

## 1.8 Расчет минимальной дальности действия, разрешающей способности и точности измерения координат

При расчете минимальной дальности действия (мертвой зоны) станции необходимо учитывать не только тактические характеристики станции, но и высоту установки антенны.

Мертвая зона не может быть менее дистанции, проходимой излученным импульсом за время работы антенны на его передачу. Это время складывается из дальности излучаемого импульса  $\tau$  и времени срабатывания антенного переключателя при переключении на прием  $\tau_n$ :

$$r'_{\text{МЗ}} \geq \frac{c \cdot (\tau + \tau_n)}{2}.$$

С другой стороны, в зависимости от высоты  $h_a$  установки антенны и ширины диаграммы направленности в вертикальной плоскости  $\theta_\epsilon$ , в непосредственной близости от антенны под диаграммой направленности образуется не просматриваемая зона протяженностью

$$r''_{\text{МЗ}} \geq \frac{h_a}{\text{tg} \frac{\theta_\epsilon}{2}} = \quad \text{М}$$

За «мертвую» зону следует считать большее значение

$$r_{\text{МЗ}} = \max(r'_{\text{МЗ}}, r''_{\text{МЗ}}).$$

Потенциальная среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $\sigma_d$  и направления  $\sigma_q$  в зависимости от отношения сигнал/шум  $a$  рассчитывается по формулам:

$$\sigma_d = \frac{c \cdot \tau_u}{\sqrt{\pi \cdot a}} = \quad \text{м}$$

$$\sigma_q = \frac{\theta_z}{\sqrt{\pi \cdot a}} =$$

На максимальной дальности (в момент обнаружения)  $a \approx 1$ .

Сводная таблица расчетов

Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости	$\theta_z$ , град.	
Ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости	$\theta_v$ , град.	20
Длина волны	$\lambda$ , м	
Длина волны в волноводе	$\lambda_v$ , м	
Максимальная дальность действия РЛС	$D_{\max}$ , м.миль	96
Длительность импульса	$\tau_u$ , мкс	
Рабочая частота	$f$ , МГц	
Разрешающая способность по направлению	$r_q$ , град	
Разрешающая способность по дальности	$r_d$ , м	
Частота следования импульсов	$F_u$ , с <sup>-1</sup>	

Период повторения зондирующих импульсов	$T_u, \text{с}$	
Угловая скорость вращения антенны	$\Omega, \text{град/с}$	
Средняя мощность излучения	$P_{cp}, \text{Вт}$	
Полоса пропускания приемника	$\Delta f, \text{МГц}$	
Количество импульсов в пакете	$N_u$	10
Коэффициент различимости	$K_p$	1,0
Чувствительность приемника	$P_{np \text{ min}}$	
Коэффициент полезного действия	$\eta$	
«Мертвая зона»	$r_{M3}, \text{м}$	
Максимальная дальность действия с потерями	$D_{\text{макс.}}$	

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байрашевский А.М., Ничипоренко Н.Т. Судовые радиолокационные системы. - М.: Транспорт, 1982. - 320 с.
2. Бездольный В.П. Судовые радиолокационные станции. - Владивосток: Дальрыбвтуз, 1988.-108 с.
3. Василенко В.А., Розен Б.С., Серегин В.В. Радионавигационные приборы и системы. - М.: Агропромиздат, 1986.-320 с.
4. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. М.: Советское радио, 1977.-320 с.
5. Морская радиолокация/ [В.И. Винокуров, В.А. Генкин, С.П. Колесниченко, А.З. Киселев, В.И. Щербак]. - Л.: Судостроение, 1986.-256 с.
6. Судовая радиоэлектроника и радионавигационные приборы/ [А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков, А.А. Ильин, Н.Т. Ничипоренко, В.В. Серегин]. - М.: Транспорт, 1988.-271 с.
7. Теория и практика эксплуатации радиолокационных систем [С.М. Латинский, В.Н. Шарапов, С.П. Ксендз, С.С. Афанасьев]. - М: Советское радио, 1970.-432 с.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**  
**Федеральное государственное бюджетное образова-**  
**тельное учреждение**  
**высшего образования**

**«Дальневосточный государственный технический**  
**рыбохозяйственный университет»**  
**(ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»)**

**Кафедра «Судовождение»**

**РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ И**  
**РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

**Контрольная работа на тему**

**«Обоснование требований к основным эксплуатационным и**  
**техническим характеристикам судовых РЛС»**

**Выполнил:**

**студент гр. СВс-214**

**Иванов В.В.**

**Проверил:**

**Петров В.В.**

**Владивосток**

**2017**



Приложение 2

Значение варианта Номер цифры		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$V_c$ , уз	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
2	$h_a$ , м	11	10	20	19	8	17	16	15	14	12
3	$l_6$ , м	10	11	18	16	15	14	9	13	12	8
4	$d_a$ , м	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,5	2,6	2,9
5	$V_u$ , уз	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10
6	$P$ <sub>т</sub> , тыс.	3	5	8	10	12	15	16	18	20	30
7	$D$ <sub>н.м.</sub> , миль	50	55	60	65	70	75	80	45	40	35
8	$d_p$ , м	80	85	90	100	110	120	125	130	140	150
9	$P_{p.н.}$ , %	50	60	65	70	75	80	85	90	95	55
10	$D_p$ , км	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
11	Вариант условий	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Номер вариант соответствует порядковому номеру студента в зачетной (экзаменационной) ведомости.

Пример: Задан вариант 25.341.608.907

Исходные данные  $V_c = 10$  уз;  $h_a = 17$  м;  $l_a = 16$  м;  $d_a = 1,9$  м;  
 $V_u = 18$  уз;  $P = 16$  тыс. т;  $D_{н.м.} = 50$  миль;  $d_p = 140$  м;  $P_{р.н.} = 55\%$ ;  
 $D_p = 5$  км; вариант условий наблюдения №7 - туман при видимости 200 м (варианты условий наблюдений представлены на странице 6).

### Приложение 3

Порядковый номер студента	Номер варианта
1	888.888.888.88
2	666.666.666.66
3	555.555.555.55
4	123.456.789.14
5	444.444.444.44
6	333.333.333.38
7	232.345.678.27
8	311.234.567.36
9	777.777.777.77
10	222.222.222.26
11	400.123.456.09
12	544.002.345.47
13	111.111.111.18
14	000.000.000.08

15	010.101.010.19
16	101.202.303.47
17	655.561.234.55
18	404.333.265.26
19	987.654.321.95
20	896.765.213.89
21	775.543.002.88
22	653.891.528.37
23	529.420.846.28
24	798.429.752.39
25	442.856.293.46
26	196.704.173.19
27	196.409.113.59
28	188.807.107.17
29	256.231.430.05
30	468.690.202.28