

И. П. Безгина, И. М. Мыщенко, С. И. Хоменко

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: ire@ire.kharkov.ua*

Приведены результаты экспериментальных исследований дальности действия радиолокационных станций сантиметрового диапазона в районах Мирового океана. Исследованы зависимости отраженных сигналов от дальности в загоризонтной области при различных условиях распространения радиоволн. Одновременно с радиолокационной наблюдаемостью произведено определение дистанционных зависимостей множителя ослабления радиоволн $V(r)$ по полю прямого сигнала и произведен расчет эффективной площади рассеяния судов и ее зависимость от расстояния за горизонтом. Ил. 7. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: распространения радиоволн, радиолокационная станция, эффективная площадь рассеяния, множитель ослабления, дистанционная зависимость множителя ослабления, радиолокационная наблюдаемость, волновод испарения.

Одной из проблем в области распространения радиоволн и радиолокационной техники является создание средств радиолокации, дальность действия которых превышает радиогоризонт. Сложность создания таких устройств определяется спецификой их применения на судах: ограничением энергетикой, размеров и высоты расположения антенных систем, необходимостью их стабилизации в пространстве. С другой стороны, в отличие от континентальных трасс, наиболее сильные аномалии распространения радиоволн встречаются над обширными водными поверхностями Мирового океана [1]. Особый интерес представляет распространение радиоволн сантиметрового (см) диапазона, на котором работает большинство судовых навигационных радиолокационных станций (РЛС).

В настоящее время известно большое количество работ, посвященных исследованию распространения радиоволн см диапазона над обширными водными поверхностями [2] и определению дистанционных зависимостей множителя ослабления радиоволн $V(r)$ [3].

Одним из основных параметров РЛС, обеспечивающих безопасность судоходства, является ее дальность действия $r_{\text{пред}}$. Как видно из уравнения радиолокации

$$r_{\text{пред}} = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{изл}} \sigma G^2 \lambda^2}{P_{\text{ш}} (4\pi)^3}} V^2, \quad (1)$$

где $P_{\text{изл}}$ – излучаемая мощность передатчика; G – коэффициент усиления антенны; σ – эффективная площадь рассеяния цели (ЭПР); λ – длина волны; $P_{\text{ш}}$ – чувствительность приемного устройства; V – множитель ослабления радиоволн, дальность действия $r_{\text{пред}}$ зависит от энергопотенциала станции, определяемого параметрами $P_{\text{изл}}$, G , $P_{\text{ш}}$, множителем ослабления радиоволн V и эффективной площадью рассеяния σ . Величина множи-

теля ослабления радиоволн V и его дистанционная зависимость $V(r)$ связана с условиями распространения радиоволн см диапазона в приземном слое тропосферы: наличием волновода испарения, инверсионных слоев и др. Этот вопрос достаточно хорошо изучен и изложен в целом ряде работ [1–3]. Проведены исследования характеристик рассеяния радиолокационных целей [4], включая и надводные объекты [5].

Однако исследования ЭПР надводных объектов за пределами радиогоризонта, что наиболее интересно для радиолокационных средств, обеспечивающих безопасность судоходства, проведены недостаточно. Это связано с тем, что такие исследования требуют комплексного подхода и достаточно дорогостоящие. Одновременно с уровнем отраженного от надводного объекта сигнала на входе приемника РЛС $P_{\text{п}}$ необходимо знать условия загоризонтного распространения радиоволн – дистанционную зависимость множителя ослабления $V(r)$. Целью данной работы являются комплексные радиофизические исследования радиолокационной наблюдаемости надводных объектов при различных условиях загоризонтного распространения радиоволн см диапазона.

В состав комплексных радиофизических исследований входили:

- измерение дистанционной зависимости множителя ослабления радиоволн см диапазона по полю прямого сигнала $V(r)$, которые производились с помощью двух судов, на одном из которых был установлен приемник, а на другом – передатчик. Методика измерения и результаты экспериментальных исследований приведены в наших работах [6, 7].

- определение уровня отраженного от одного из судов (случайной цели) сигнала при расхождении или схождении на входе приемника РЛС $P_{\text{п}}$. РЛС см диапазона была размещена на судне, где

установлен передатчик. Таким образом, производилось одновременное определение множителя ослабления радиоволн по полю прямого сигнала V и уровня отраженного от надводного объекта P_{Π} сигнала.

– метеорологические исследования – ежечасные судовые гидрометеорологические исследова-

ния (СГМИ) и расчет высоты волновода испарения $h_{\text{в}}$ [8]. Кроме этого, через каждые 3 ч производился запуск шаров-зондов до высот 5 км.

Параметры приемно-передающих (ПРМ-ПРД) комплексов и измерительных РЛС приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры ПРМ-ПРД комплексов и измерительных РЛС

	G_1 , дБ	G_2 , дБ	$P_{\text{изл}}$, Вт	λ , см	$P_{\text{ш}}$, дБ/Вт
РЛС «МРЛ-5»	49	–	$2 \cdot 10^5$	3,2	–130/–134
РЛС «К2М»	33	–	$9 \cdot 10^4$	3,2	–123
ПРМ-ПРД	38	38	$8 \cdot 10^4$	3,2	–138

Функциональные схемы основных узлов измерительной РЛС на основе «К2М» представлены на рис. 1, а на основе «МРЛ-5» – на рис. 2. Станция «К2М» была установлена на опытном испытательном судне (ОИС) «Адмирал Владимирский», а станция «МРЛ-5» – на

ОИС «Михаил Крупский». Эти суда использовались в различных районах Мирового океана: «Адмирал Владимирский» – в Индийском океане, Центральной Атлантике, «Михаил Крупский» – в Северном Ледовитом океане и Северной Атлантике.

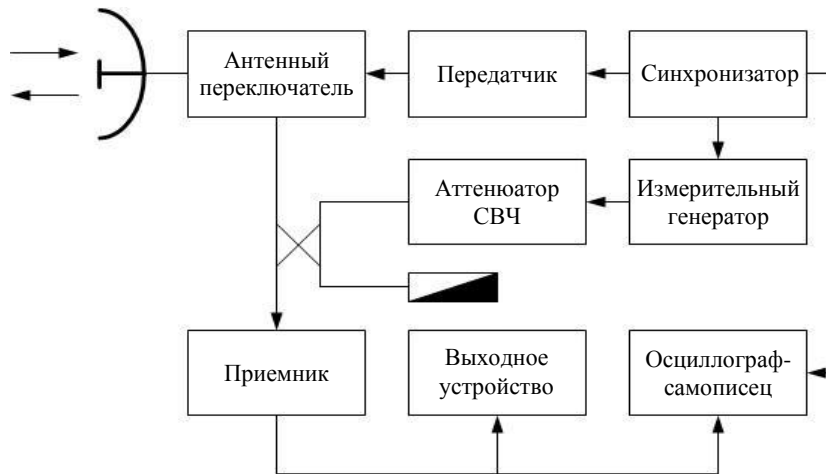


Рис. 1. Функциональная схема макета РЛС на основе «К2М»

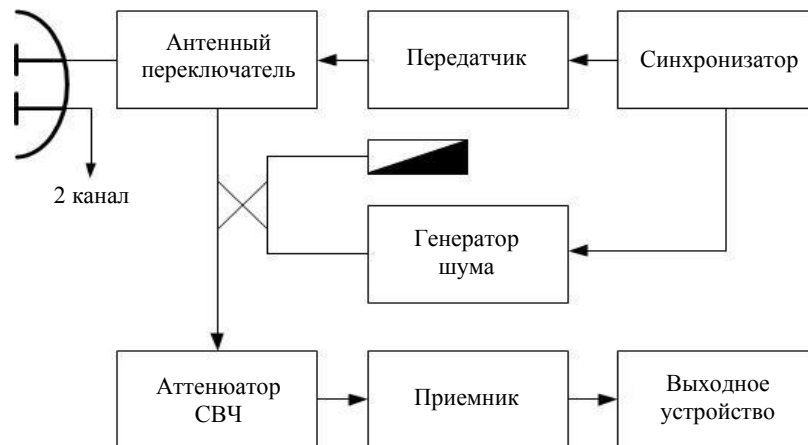


Рис. 2. Функциональная схема основных узлов «МРЛ-5»

Калибровка (рис. 2) РЛС «МРЛ-5» производилась с помощью генератора шума (33КТ) и аттенуатора СВЧ (суммарное ослабление 72 дБ с дискретом 6 дБ).

В качестве примера на рис. 3 представлена зависимость временного хода высоты волновода испарения $h_B(t)$ в момент проведения радиофизических исследований (Северная Атлантика). Как видно из рис. 3, в этот период с 23 по 27 августа 1983 г. в исследованном районе наблюдалось резкое изменение высот волноводов испарения, что давало возможность оценить влияние условий распространения радиоволн на ЭПР надводных объектов. Так, с 23 по 25 августа высоты волноводов изменялись от 4 до 8 м, с 25 по 26 августа – от 6 до 10 м, а наиболее высокие волноводы наблюдались с 26 по 27 августа – до 15 м. Такие изменения связаны с нестационарностью атмосферных процессов, сопровождавшихся резкой сменой погодных условий, колебаниями основных метеоэлементов: скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, атмосферного давления. Отмечалась аномально высокая температура подстилающей поверхности в течение всего периода проведения работ. Температура воды обычно составляла 14...15 °С, а во второй половине дня 26 августа достигала 17...18 °С. Это вызвало увеличение процесса испарения с поверхности океана, что и привело к увеличению высоты волновода испарения до 15 м.

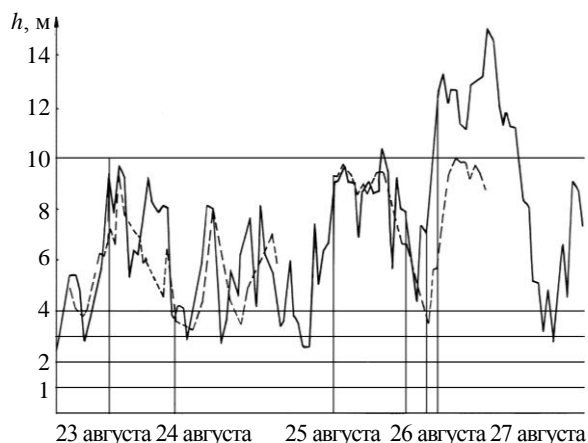


Рис. 3. Зависимость временного хода высоты волновода испарения $h_B(t)$ в момент проведения радиофизических исследований

Как известно [9], множитель ослабления радиоволн равен

$$V = \frac{P}{P_0}. \quad (2)$$

Здесь P – мощность сигнала на входе приемника в реальных условиях; P_0 – мощность сигнала на входе приемника, которая была бы принята при распространении в свободном пространстве;

$$P_0 = \frac{P_{изл} G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2},$$

где $P_{изл}$, G_1 , G_2 , λ – параметры

приемо-передающего комплекса. Величину множителя ослабления V необходимо учитывать при определении мощности обратного рассеяния цели на входе приемника радиолокатора, которая с учетом ослабления до цели и обратно равна

$$P_{П} = \frac{\sigma P_{изл} G_3^2 \lambda^2 V^2}{(4\pi)^3 r^4}, \quad (3)$$

где $P_{изл}$, G_3 , λ – параметры РЛС.

Таким образом, пользуясь выражением (3), можно по радиолокационной наблюдаемости надводных объектов определить множитель ослабления

$$V = \sqrt{\frac{P_{П} (4\pi)^3 r^4}{\sigma P_{изл} G_3^2 \lambda^2}}. \quad (4)$$

Выражение (3) дает верные значения множителя ослабления, если считать, что ЭПР цели является постоянной величиной. Однако в действительности это не так. ЭПР в зоне прямой видимости будет зависеть от расстояния до РЛС и высоты ее расположения (зона интерференции), а за пределами радиогоризонта – еще и от условий распространения радиоволн. Условия распространения радиоволн характеризуются множителем ослабления V (1).

В случае, если известен множитель ослабления V , из выражения (3) можно определить σ

$$\sigma = \frac{P_{П} (4\pi)^3 r^4}{P_{изл} G_3^2 \lambda^2 V^2}. \quad (5)$$

При проведении комплексных радиофизических исследований, когда одновременно исследуется дистанционная зависимость поля прямого и отраженного сигналов, σ можно определить следующим образом. Будем считать равными на одном и том же расстоянии множители ослабления радиоволн, полученные по полю прямого (2) и отраженного сигналов (3):

$$\frac{P}{\frac{P_{изл} G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi r)^2}} = \sqrt{\frac{P_{П} (4\pi)^3 r^4}{\delta P_{изл} G_3^2 \lambda^2}}. \quad (6)$$

Откуда σ будет равна

$$\sigma = \frac{P_{П} P_{изл}^2 G_1^2 G_2^2 \lambda^2}{P_{изл} G_3^2 P^2 4\pi}. \quad (7)$$

Зная прямой и отраженный сигналы и параметры приемо-передающего комплекса РЛС, можно определить ЭПР. Как видно из (7), при предположении равенства множителя ослабления

радиоволн прямого и отраженного сигналов ЭПР от расстояния не зависит, а определяется на одном и том же расстоянии.

В табл. 2 [5] приведены средние значения ЭПР $\sigma_{\text{ср}}$ для кораблей и судов, определенные экспериментальным путем с реальными объектами

или их электродинамическими моделями. ЭПР даже для одних и тех же целей колеблется в значительных пределах в зависимости от условий и способа измерений, поэтому приводимые ниже данные являются приближенными и могут быть использованы только при оценочных расчетах.

Таблица 2

Средние значения ЭПР $\sigma_{\text{ср}}$ для кораблей и судов ($\lambda = 3,2$ см)

Тип надводной цели	$\sigma_{\text{ср}}, \text{M}^2$	$\sigma_{\text{ср}}, \text{дБ}$
Крейсер	тяжелый	14 000...15 000
	легкий	1 000...2 000
Эсминец	500	27
Катер	100	20
Небольшая подводная лодка в надводном положении	5...150 в зависимости от ракурса	7...21,75
Рубка подводной лодки	1...2	0...3
Грузовые суда водоизмещением, м:		
Свыше 10 000	15 000...16 000	41,75...42,05
3 000...10 000	1 000...5 000	30...37
1 000...3 000	750...1 000	28,75...30
600...1 000	140...750	21,45...28,75
Бакен	~1	~0

На рис. 4–6 представлены зависимости ЭПР, множителя ослабления поля прямого сигнала и отраженного от надводных объектов сигнала от расстояния при различных условиях распространения радиоволн.

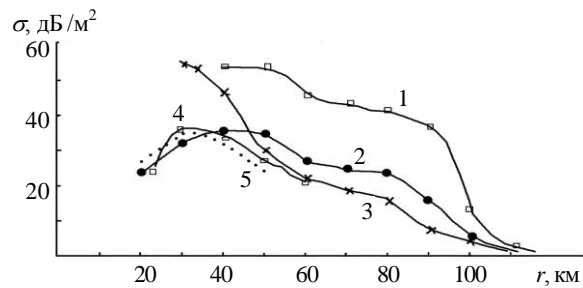


Рис. 4. Зависимости ЭПР от расстояния

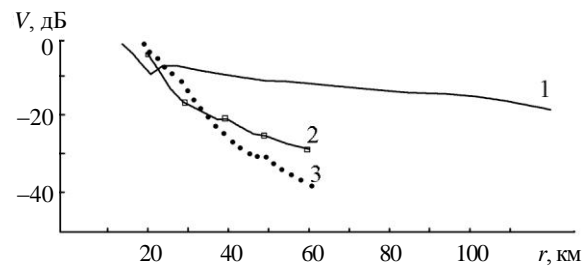


Рис. 5. Дистанционные зависимости $V(r)$ множителя ослабления поля прямого сигнала

На рис. 5 представлены полученные при радиофизических исследованиях дистанционные зависимости множителя ослабления $V(r)$ радиоволн поля прямого сигнала. Зависимость 1 соот-

ветствует наличию волновода испарения (рис. 3) с высотой $h_B \approx 10...12$ м (период 25–27 августа 1983 г.) и малым погонным ослаблением сигнала. Зависимости 2 и 3 соответствуют волноводу испарения с высотами 4...6 м, где распространение радиоволн 3-см диапазона происходит с достаточно большими ослаблениями.

На рис. 6 представлены зависимости отраженного от надводного объекта сигнала $P_{\text{П}}$ от расстояния. Зависимости 1–3 соответствуют условиям волноводного распространения радиоволн и получены одновременно с дистанционной зависимостью множителя ослабления 1 (рис. 5). Зависимость 4 (рис. 6) соответствует зависимости 4 (рис. 5), а зависимость 5 (рис. 6) соответствует зависимости 3 (рис. 5).

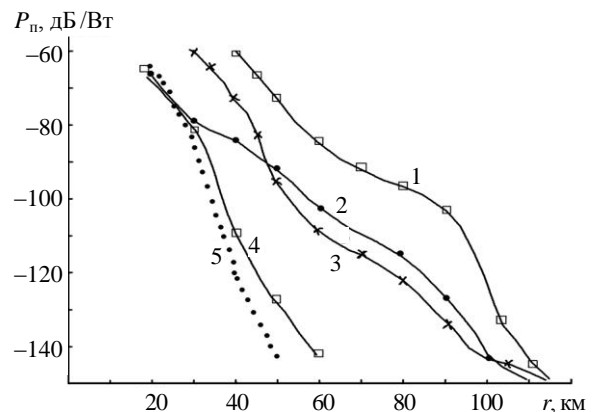


Рис. 6. Зависимость отраженного от надводного объекта сигнала от расстояния

Высоты расположения антенных систем приемо-передающего комплекса и РЛС отличались незначительно и равны ~ 16 м. Высота расположения отражающих объектов цели была постоянной и зависела от типа судна: контейнеровоз представляет собой почти цельную отражающую поверхность корпуса и контейнеров с высотой 20...30 м. Для этого случая прямая видимость может составлять [9] $r_{\text{пр}} = 4,13(\sqrt{h_A} + \sqrt{h_{\text{Ц}}}) \approx 40$ км, а ЭПР иметь значительную величину. На рис. 5 (кривая 1) на расстояниях 40...50 км ЭПР контейнеровоза составляет $+55$ дБ/м², что не противоречит данным, приведенным в литературе (см. табл. 2). Далее с увеличением расстояния ЭПР контейнеровоза, рассчитанная с помощью выражения (5), уменьшалась и на расстоянии ~ 115 км цель была потеряна. Другой целью был танкер, который, также как и контейнеровоз, имеет значительную ЭПР, но высота отражающей поверхности значительно меньше (~ 10 м). Прямая видимость в этом случае (см. рис. 4, кривая 3) составляла $r_{\text{пр}} \approx 28$ км. ЭПР танкера на расстоянии 30 км была такой же, как и у контейнеровоза $+55$ дБ/м², затем начала уменьшаться, и цель на расстоянии 110 км была потеряна. Целью с известной ЭПР служило одно из судов, участвовавших в радиофизических исследованиях (ОИС «Молдавия», $\sigma = 2000$ м²). При расхождении исследовательских судов получена зависимость 3 (рис. 4). Для этого случая ЭПР на расстояниях 30...55 км, рассчитанная с помощью выражения (5) и экспериментальных данных V и $P_{\text{П}}$ (рис. 5, 6), лежит в пределах 31...36 дБ/м² и с точностью погрешностей измерений совпадает с калиброванной величиной ЭПР, а далее происходит уменьшение ЭПР, и на расстоянии 110 км цель потеряна. Как видно из рис. 4, ЭПР судов в условиях волноводного распространения см диапазона радиоволн на расстояниях, близких к прямой видимости, имеет максимальное значение, а для калиброванной цели практически равна этому значению. Затем при удалении судов за горизонт, когда отраженный сигнал $P_{\text{П}}$ (рис. 6) определяется параметрами волновода испарения ЭПР, имеет дистанционную зависимость и с увеличением расстояния уменьшается. Причем чем больше значение ЭПР в зоне близкой к прямой видимости, тем больше крутизна уменьшения ЭПР с увеличением расстояния за горизонтом.

Рассмотрим другой случай распространения радиоволн см диапазона, когда волновод испарения не имеет достаточной высоты и распространение радиоволн 3-см диапазона происходит с достаточно большим ослаблением. Этому случаю соответствуют дистанционные зависимости множителя ослабления $V(r)$ 2, 3 (рис. 5) и зависимости отраженного от надводного объекта

сигнала $P_{\text{П}}$ 4, 5 (рис. 6). В качестве судна-цели использовался ОИС «Молдавия» с калиброванной ЭПР. На рис. 4 представлены зависимости $\sigma(r)$ для этих случаев: кривая 4, которая соответствует дистанционной зависимости $V(r)$ – кривая 2 (рис. 5), и кривая 5 (рис. 6), которая соответствует дистанционной зависимости $V(r)$ – кривая 3 (рис. 5). Как видно из рис. 4, значение ЭПР при распространении радиоволн см диапазона с большим погонным затуханием и отсутствием волновода испарения с достаточной высотой на расстояниях, близких к радиогоризнту, практически равно калибровочной величине ~ 33 дБ/м² и значениям, полученным при волноводном распространении радиоволн. Также с увеличением расстояния наблюдается уменьшение ЭПР. Однако из-за большого ослабления сигналов цели потери на расстояниях 50 и 60 км (рис. 4), что соответствует зависимостям 3 и 2 (рис. 5).

Как видно из рис. 4, существует зависимость ЭПР σ надводных объектов от расстояния как при волноводном распространении, так и при распространении в отсутствие волновода испарения с необходимой высотой $h_{\text{В}}$. Эта зависимость тем сильнее, чем больше ЭПР надводного объекта.

Это явление, по-видимому, можно объяснить пространственно-временными выражениями параметров приводного слоя, влияние которых на формирование отраженного сигнала будет зависеть от размеров надводного объекта.

Параллельно с исследованием, описанными выше, проводились систематические исследования дальности действия штатных судовых навигационных и метеорологических РЛС см диапазона.

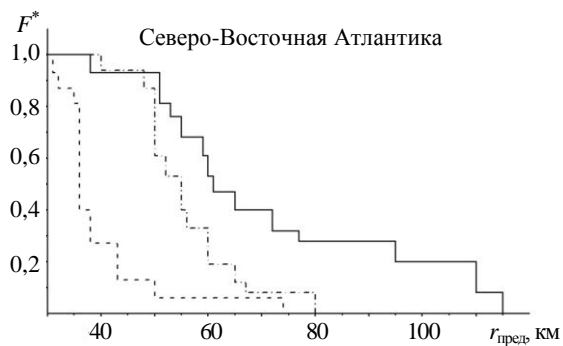
Определение дальности действия производилось с помощью навигационных судовых РЛС «Дон», «Наяда», специально установленной РЛС «К2М» и метеорологической РЛС «МРЛ-5». Энергопотенциал станций составлял: для РЛС «Дон» – 164 дБ, «Наяда» – 168 дБ, «К2М» – 173 дБ, «МРЛ-5» – 214 дБ. Перечисленные станции работали в 3-см диапазоне. Кроме этого, РЛС «МРЛ-5» имела второй канал в 10-см диапазоне с энергопотенциалом 216 дБ. Высоты расположения антенных систем РЛС находились в пределах 16...20 м. Исключение составляла РЛС «К2М», высота расположения которой 5 м.

Дальность действия $r_{\text{пред}}$ – это расстояние, когда отраженный сигнал становился равен шумам и не наблюдался на экране индикатора. Исследования проводились в процессе выполнения галсов на расхождение. Кроме этого, использовались случайные суда, которые проходили в зоне видимости и могли быть охарактеризованы относительно судна с известной ЭПР.

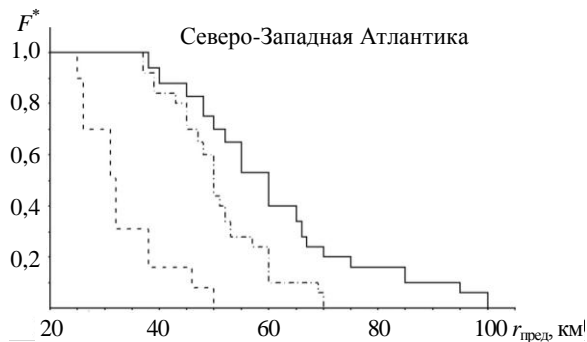
Функции распределения F^* дальности действия приведены на рис. 7. На рис. 7, а приве-

дены данные для района Северо-Восточной Атлантики (K1 – 3-см диапазон, K2 – 10-см диапазон), рис. 7, б – данные для Северо-Западной Атлантики, на рис. 7, в – район Северного

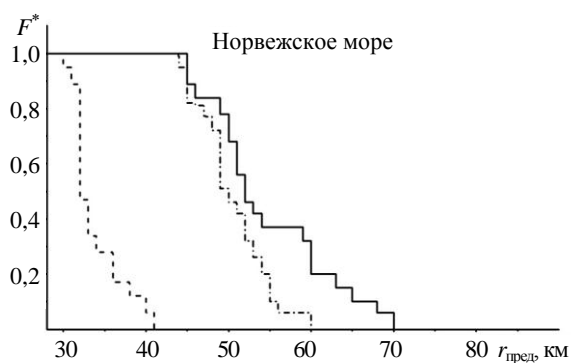
Ледовитого океана (Норвежское море), на рис. 7, г – район Индийского океана, на рис. 7, д – Охотское море, рис. 7, е – район Тихого океана (о. Шикотан), рис. 7, ж – Японское море.



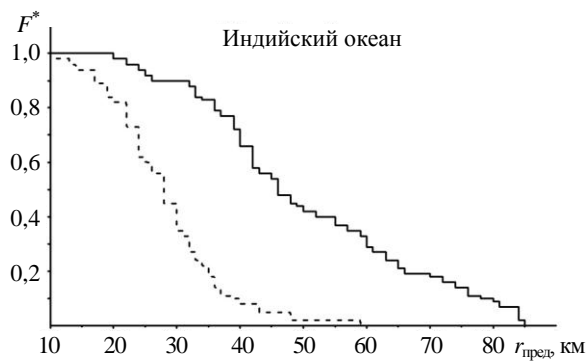
(а)



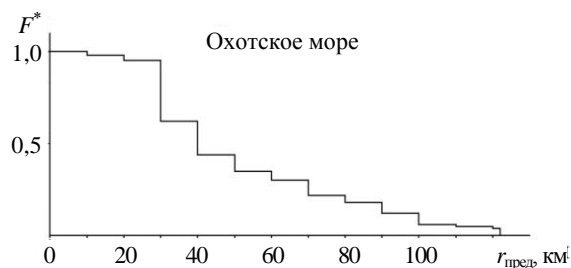
(б)



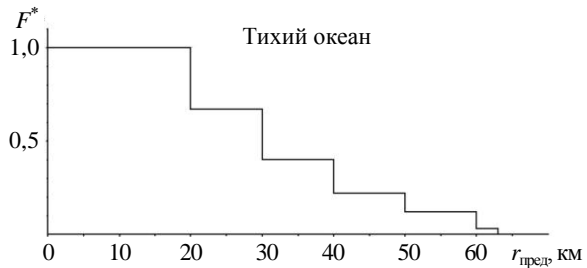
(в)



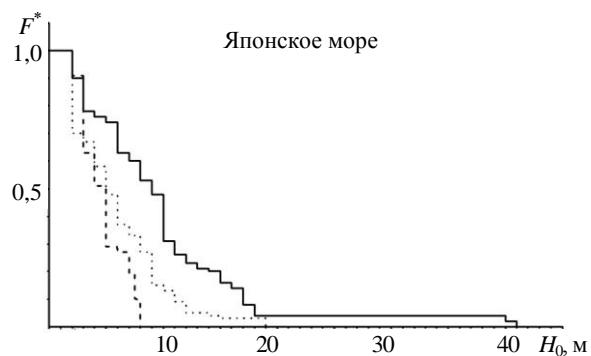
(г)



(д)



(е)



(ж)

Рис. 7. Функции распределения F дальности действия судовых навигационных РЛС

Выводы. В результате проведенных комплексных радиофизических исследований загоризонтного распространения поля прямого и отраженного от надводных объектов сигналов см диапазона можно сделать следующие выводы.

Одним из основных механизмов распространения радиоволн в исследованных районах Мирового океана являлся волновод испарения, причем, высоты волноводов позволяли осуществлять волноводное распространение 3-см диапазона радиоволн и очень редко 10-см диапазона. Волноводы испарения с высотами 2...4 м практически всегда присутствуют над поверхностью океанов, поэтому 3-см диапазон не является оптимальным. Необходим более высокочастотный диапазон. Ограничением увеличения частоты является ослабление из-за поглощения газами и гидрометеообразованиями, шероховатость морской поверхности. РЛС «МРЛ-5» в 10-см диапазоне работы при практически равном потенциале с 3-см диапазоном во всех случаях имел дальность действия меньшую.

ЭПР надводных объектов в загоризонтной области не является постоянной величиной и имеет зависимость от расстояния как при волноводном распространении, так и при низком волноводе с высотой, недостаточной для волноводного распространения. При этом, чем больше размеры судна и его ЭПР на расстояниях, близких к радиогоризонту, тем сильнее эта зависимость за пределами радиогоризонта. Таким образом, эти эффекты необходимо учитывать при определении дальности действия РЛС с использованием дистанционных зависимостей множителя ослабления $V(r)$ радиоволн, полученных по полю прямого сигнала.

Следует иметь в виду, что все выше изложенное относится к районам Мирового океана, далеким от материков и влияния суши.

1. *Исследование* ослабления радиоволн УКВ диапазона в районах Мирового океана / В. Л. Костина, И. М. Мыценко, А. Н. Роевко, С. И. Хоменко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2007. – 12, № 3. – С. 532–539.
2. *Радиофизические* исследования Мирового океана: сб. науч. тр. / под ред. В. Б. Разказовского; Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – Х., 1992. – 220 с.
3. Gorge S. Y. A new model of the Oceanic Evaporation Duct / S. Y. Gorge, I. A. Carton // Y. Appl. Metrology. – 1997. – P. 193–203.
4. Казаков Е. Л. Характеристики рассеяния радиолокационных целей / Е. Л. Казаков и др. – Х., 2006. – 185 с.
5. Красюк Н. П. Корабельная радиолокация и метеорология / Н. П. Красюк, В. Н. Розенберг. – Л.: Судостроение, 1970. – 328 с.

6. Мыценко И. М. Дистанционные зависимости множителя ослабления радиоволн 3, 10, 50, 200 см диапазонов в районах Мирового океана / И. М. Мыценко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2006. – 11, № 3. – С. 393–399.
7. Мыценко И. М. Исследование распространения радиоволн сантиметрового диапазона при наличии волновода испарения / И. М. Мыценко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2008. – 13, № 2. – С. 173–177.
8. Гаврилов А. С. Методы расчета структуры приводного слоя атмосферы применительно к задачам радиолокации над океаном / А. С. Гаврилов, Ю. С. Петров // Рассеяние и дифракция радиолокационных сигналов и их информативность: сб. науч. тр. / Северо-Западный политехн. ин-т. – Л., 1984. – С. 31–36.
9. *Дальнее тропосферное* распространение ультракоротких радиоволн / под ред. Б. А. Введенского и др. – М.: Сов. радио, 1965. – 415 с.

I. P. Bezgina, I. M. Mytsenko, S. I. Khomenko

RESEARCH ON RADIOLOCATION OBSERVABILITY OF SURFACE OBJECTS IN THE AREAS OF THE WORLD OCEAN

The results of experimental researches of radar range in centimetric range in the areas of the World Ocean are represented. The functions of reflected signals on range in over-the-horizon area at different conditions of radio wave propagation are investigated. A function of propagation factor $V(r)$ on the direct signal array is determined simultaneously with radio-location observability. The calculation of ship scattering cross-section is determined and its function on over-the-horizon distance is represented.

Key words: radio wave propagation, radar station, scattering cross-section, propagation factor, function propagation factor of distance, radio-location observability, waveguide of evaporation.

І. П. Безгіна, І. М. Миценко, С. І. Хоменко

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ НАДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У РАЙОНАХ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Приведено результати експериментальних досліджень дальності дії радіолокаційної станції сантиметрового діапазону в районах Світового океану. Досліджено залежності відбитих сигналів від дальності в загоризонтній області за різних умов поширення радіохвиль. Одночасно з радіолокаційною спостережуваністю здійснено визначення дистанційних залежностей множника ослаблення радіохвиль $V(r)$ по полю прямого сигналу і виконано розрахунок ефективної площі розсіяння суден і її залежність від відстані за горизонтом.

Ключові слова: поширення радіохвиль, радіолокаційна станція, ефективна площа розсіяння, множник ослаблення, дистанційна залежність множника ослаблення, радіолокаційна спостережуваність, хвилевід випару.

Рукопись поступила 20.05.10 г.