

В. Н. Горобец, В. Г. Гутник*, С. М. Зотов, Ф. В. Кивва, А. А. Шапиро

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБРАЗА КОРАБЛЯ НА
МОРСКОМ ВОЛНЕНИИ**

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: gorobets777@mail.ru*

**Радиоастрономический институт НАН Украины,
4, ул. Краснознаменная, Харьков, 61004, Украина
E-mail: vgutnik@rambler.ru*

Разработана математическая модель радиолокационного образа корабля на морском волнении. Показано, что доплеровский спектр отраженного от корабля сигнала несет в себе информацию об архитектуре корабля и динамике его движения. Предложенная модель позволяет выявить особенности пространственной структуры корабля, что дает возможность использовать ее для решения ряда радиолокационных задач, в том числе распознавания радиолокационного образа корабля. Ил. 3. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: радиолокационная модель, надводные объекты, качка корабля, распознавание радиолокационного образа.

Радиолокационное обнаружение, измерение параметров и распознавание морских и аэродинамических объектов, движущихся на/над взволнованной морской поверхностью, было и остается одной из главных задач, решаемых дистанционными методами и средствами, установленными на береговых, корабельных, авиационных и космических платформах [1].

В большинстве случаев для решения задачи обнаружения объектов и измерения их траекторных параметров является достаточным представлением цели как точечного источника переизлучения зондирующего сигнала, в котором основным информационным параметром является интенсивность сигнала или эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) цели. В этом представлении протяженность объекта и его эволюция в пространстве приводит к возникновению мешающих факторов в виде угловых и амплитудных шумов, снижающих точность измерения параметров цели.

Решение задачи распознавания приводит к необходимости разработки новых подходов к синтезу зондирующих сигналов и методов обработки принятых сигналов, при которых для протяженных объектов угловые и амплитудные шумы могут служить информационными признаками, используемыми для их классификации и распознавания.

Теоретический анализ процессов, обеспечивающих преобразование радиолокационным объектом зондирующего излучения в рассеянный сигнал, принимаемый антенной радиолокационной станции (РЛС), осуществляется с помощью математических моделей объекта и среды распространения. Характеристики принятого сигнала, являющегося пространственно-временным описанием классов объектов, из которого формируются

их признаки, должны содержать информацию, адекватную соответствующим классам. Поэтому аналогия между моделью объекта и отраженным от него сигналом является одним из важнейших условий, обеспечивающих решения радиолокационных задач, в том числе в условиях распознавания объектов на взволнованной морской поверхности.

Известные математические модели, описывающие рассеивающие свойства надводных объектов, статистические [2–5] и детерминированные [6, 7], не позволяют в общем случае решить проблему их распознавания.

В настоящей работе предложена детерминированная модель протяженного надводного объекта сложной формы, подверженного морской качке. В отличие от известных моделей, она позволяет выявлять особенности пространственной структуры надводных объектов, а также производить сжатие признаков пространства, что является одной из нерешенных проблем в условиях, когда сама модель объекта не описывается гауссовыми статистиками.

Детерминированная математическая модель надводного объекта. Радиолокационный надводный объект представляет собой, как правило, проводящее тело определенной пространственной конфигурации, которое совершает сложные перемещения во времени и пространстве. Физическими признаками такого объекта являются его геометрические, динамические и кинематические характеристики: относительно большая протяженность, сложность архитектуры надстроек, а также колебания всего объекта и его частей под воздействием морского волнения.

В наиболее простом случае корабль можно представить в виде геометрически жестко связанного ансамбля из N локальных центров рас-

сеяния (ЛЦР), размещенных в границах объекта и движущихся совместно с ним в соответствии с законами кинематики твердого тела. Предполагается, что при радиолокационном сопровождении обеспечивается дальняя зона и все ЛЦР в процессе эволюции не выходят за пределы сектора главного лепестка диаграммы направленности антенны РЛС. При этом каждый i -й ЛЦР ансамбля рассматривается как независимая точечная цель, имеющая определенную величину ЭПР σ_i .

Для такой цели может быть использовано уравнение радиолокации, связывающее мощности сигналов на входе и выходе РЛС [8]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{п}} G A \sigma_i}{(4\pi)^2 r^4}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пр}}$ и $P_{\text{п}}$ – мощности сигналов приемника и передатчика РЛС соответственно; G и A – коэффициент усиления и эффективная площадь антенны РЛС; r – расстояние между целью и антенной РЛС.

Поскольку мощность сигнала пропорциональна квадрату амплитуды [9], то из (1) следует

$$A_{\text{пр}} = \frac{A_{\text{п}} \sqrt{GA} \sqrt{\sigma_i}}{4\pi r^2},$$

где $A_{\text{пр}}$ и $A_{\text{п}}$ – амплитуды принимаемого и излучаемого сигналов соответственно.

Амплитуда излучаемого сигнала, которую в дальнейшем будем обозначать u_0 , является постоянной величиной. Значения величин G и A в выбранном диапазоне длин волн тоже постоянны. Поэтому величинами, зависящими от времени, являются $\sqrt{\sigma_i}$ и r . Величина $\sqrt{\sigma_i}$ зависит от курса объекта γ и изменяется во времени при изменении в общем случае трех углов, характеризующих ориентацию i -го ЛЦР в пространстве относительно антенны РЛС. Однако в определенном диапазоне углов, например при колебании объекта вокруг некоторого центра, величина $\sqrt{\sigma_i}$ может быть заменена усредненной величиной $\sqrt{\sigma_i^\gamma}$.

Величина r при переходе к временным соотношениям оказывает существенно различное влияние на амплитудные и фазовые характеристики сигналов. Так, изменение амплитуды принятого сигнала происходит за счет поступательного движения объекта и является одинаковым для всех ЛЦР: $r_i(t) = r_c(t)$. При анализе фазовых соотношений необходимо учитывать временные изменения каждой величины $r_i(t)$, поскольку именно эти движения позволяют выявить пространственную структуру объекта.

При использовании узкополосной РЛС, зондирующий сигнал которой $u_{\text{изл}}(t) = u_0 \xi(t) =$

$= u_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$, выражение для входного сигнала приемника РЛС можно записать в виде

$$u_{\text{пр}}(t) = \sum_{i=1}^N u_i^\gamma(t) \xi[t - \tau_i(t)], \quad (2)$$

где $\tau_i(t) = \frac{2r_i(t)}{c}$ – временная задержка сигнала,

рассеиваемого i -м ЛЦР; $u_i^\gamma(t) = \frac{u_0 \sqrt{GA}}{4\pi r_c^2(t)} \sqrt{\sigma_i^\gamma}$ –

медленно меняющаяся амплитуда входного сигнала РЛС.

Таким образом, вся информация, содержащаяся в выражении (2) об объекте, который может быть представлен детерминированной моделью, заключается в величинах амплитуд $u_i^\gamma(t)$ и фаз, обусловленных временной задержкой $\tau_i(t)$.

Рассмотрим, каким образом изменяется расстояние от i -го ЛЦР ансамбля до антенны РЛС при движении объекта.

При сложном движении объекта, когда объект движется поступательно и вращается или колеблется относительно условного центра, выражение для расстояния можно записать следующим образом:

$$r_i(t) = r_{0i} + V_{rc}t + \int_0^t V_{ric}(t) dt, \quad (3)$$

где r_{0i} – расстояние в момент начала наблюдения $t = 0$; V_{rc} и V_{ric} – составляющие поступательной скорости объекта и колебательной скорости i -го ЛЦР на линию визирования соответственно.

Для построения математической модели надводных объектов необходимо на основе анализа характеристик их движения, обусловленного качкой, получить соответствующие зависимости для ансамбля ЛЦР модели.

Определение законов движения связано с изучением поведения корабля как динамического объекта, подверженного внешним воздействиям, в общем случае случайным. Эти исследования по взаимодействию корабля и морского волнения сформировались в гидродинамическую теорию качки, включающую в себя линейную теорию качки на тихой воде и регулярном волнении, теорию качки на нерегулярном волнении и нелинейную теорию качки [10]. Характеристики движения ЛЦР позволяют выявить пространственную структуру объекта (корабля). Следовательно, необходимо рассмотреть результаты, вытекающие из перечисленных теорий качки, которые можно использовать в математической модели корабля.

Корабль как твердое тело, частично погруженное в жидкость, имеет 6 степеней свободы, 3 из которых – движение центра тяжести вдоль координатных осей и 3 – вращение вокруг этих осей.

Этим перемещениям соответствуют 6 видов качки: основные (продольно-горизонтальная, поперечно-горизонтальная и вертикальная) и дополнительные (бортовая, килевая и рысканье). Если разность уровней РЛС и корабля относительно горизонта невелика, то наиболее существенное влияние на рассеянный сигнал оказывают бортовая и килевая качки, а также рысканье.

Линейная теория качки на регулярном волнении, позволяющая учитывать давление на корабль набегающих волн, дает возможность рассматривать корабль как линейную систему. Эта система описывается дифференциальными уравнениями, правая часть которых определяется характеристиками набегающих волн. В результате решения этих уравнений в работе [10] получены фазочастотные и амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) бортовой и килевой качек.

Однако линейная теория качки построена в рамках допущения малости углов наклона и амплитуд набегающих волн, тогда как в реальных морских условиях амплитуды набегающих волн не являются малыми, и при достаточно больших кренах и дифферентах линейные зависимости не соблюдаются, превращаясь в нелинейные. Учет нелинейности коэффициентов дифференциальных уравнений приводит к зависимости частоты свободных колебаний от амплитуды и к неоднозначности АЧХ [11].

Анализируя приведенные результаты нелинейной теории качки, необходимо иметь в виду, что они получены в предположении воздействия на корабль регулярного волнения. В действительности волны, следующие одна за другой, различаются по периоду, высоте и углу волнового склона, т. е. морское волнение является нерегулярным. Нерегулярность волнения приводит к тому, что резонансные амплитуды качки уменьшаются, так как резонанс не успевает развиваться, а нерезонансные несколько возрастают вследствие наложения свободных колебаний. Таким образом, нерегулярность морского волнения приводит к сглаживанию АЧХ, полученной при регулярном волнении. Вследствие этого, а также приведенных в работах [11, 12] результатов, можно сделать вывод о том, что частоты основных видов колебаний группируются в относительно узкой области вокруг значений частот свободных колебаний соответствующих видов качки.

Основываясь на проведенном анализе, математическую модель надводного объекта можно представить в виде пространственного ансамбля локационных центров рассеяния (ЛЦР), совершающих колебания относительно положения равновесия в ортогональных плоскостях, ко-

торые соответствуют плоскостям килевых и бортовых колебаний объекта. Как принято в линейной теории качки, будем считать, что колебания носят гармонический характер.

В линейном приближении и в предположении независимости бортовой и килевой качек законы колебаний объекта будут иметь вид

$$\begin{aligned} \alpha_B(t) &= \alpha_{0B} \sin(\Omega_B t + \varphi_{0B}), \\ \alpha_K(t) &= \alpha_{0K} \sin(\Omega_K t + \varphi_{0K}), \end{aligned} \quad (4)$$

где α_{0B} и α_{0K} – амплитуды бортовой и килевой качек; Ω_B и Ω_K – частоты бортовой и килевой качек; φ_{0K} и φ_{0B} – начальные фазы бортовых и килевых колебаний.

В соответствии с законами колебаний (4) килевая качка происходит вокруг оси OX (рис. 1), а бортовая – вокруг оси OY неподвижной системы координат, начало которой O совпадает с центром масс, в плоскостях параллельных или совпадающих с мидель-шпангоутной и основной плоскостями корабля в положении устойчивого равновесия. В общем случае векторы скоростей V_{K_i} и V_{B_i} любого i -го ЛЦР лежат в этих плоскостях.

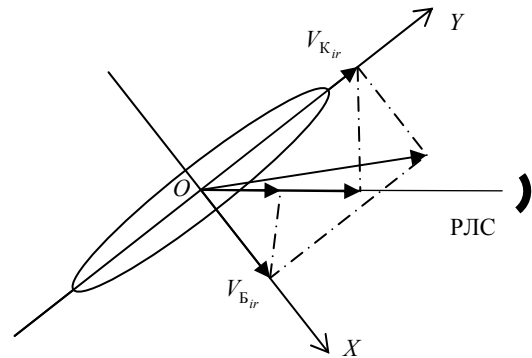


Рис. 1. Соотношения между скоростями бортовой и килевой качек при произвольном ракурсе

Выражения для горизонтальных составляющих линейных скоростей $V_{K_{ir}}$ и $V_{B_{ir}}$ i -го ЛЦР при бортовой и килевой качках имеют вид

$$\begin{aligned} V_{K_{ir}}(t) &= \alpha_{0K} \Omega_K h_i \cos(\Omega_K t + \varphi_{0K}), \\ V_{B_{ir}}(t) &= \alpha_{0B} \Omega_B h_i \cos(\Omega_B t + \varphi_{0B}). \end{aligned} \quad (5)$$

При курсовом угле γ между диаметральной плоскостью корабля и линией визирования r РЛС суммарная составляющая будет

$$V_{\Sigma_i}^\gamma(t) = V_{K_{ir}}(t) \cos \gamma + V_{B_{ir}}(t) \sin \gamma. \quad (6)$$

В квазигармоническом приближении выражение для входного сигнала приемника РЛС от N ЛЦР, перемещающихся относительно РЛС со скоростями $V_{\Sigma_i}^\gamma(t)$, в соответствии с выражениями (2), (3), (5) и (6) можно представить как

$$u_{\text{пр}}(t) = \sum_{i=1}^N u_i \cos \left[(\omega - \omega_d)t - \frac{4\pi}{\lambda} \int_0^t V_{\Sigma_i}^{\gamma}(t) dt + \Phi_i \right] =$$

$$= \sum_{i=1}^N u_i \cos \left\{ \omega t - \frac{4\pi}{\lambda} V_{\text{п}} \cos \gamma t - \frac{4\pi h_i}{\lambda} \times \right.$$

$$\times \left(\alpha_{0\text{К}} \Omega_{\text{К}} \cos \gamma \int_0^t \cos \varphi_{\text{К}}(t) dt + \alpha_{0\text{Б}} \Omega_{\text{Б}} \sin \gamma \times \right.$$

$$\left. \times \int_0^t \cos \varphi_{\text{Б}}(t) dt \right) + \Phi_i \left. \right\},$$

где λ – длина волны зондирующего излучения;

$\omega_d = 2\pi f_d = \frac{4\pi V_{rc}}{\lambda}$ – угловая доплеровская частота,

обусловленная поступательной скоростью объекта.

Сигнал, получаемый с выхода фазового детектора, можно записать следующим образом:

$$u_{\text{ФД}}(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^N u_i \cos \left\{ \frac{4\pi h_i}{\lambda} \left(\alpha_{0\text{К}} \Omega_{\text{К}} \cos \gamma \int_0^t \cos \varphi_{\text{К}}(t) dt + \right. \right. \quad (7)$$

$$\left. \left. + \alpha_{0\text{Б}} \Omega_{\text{Б}} \sin \gamma \int_0^t \cos \varphi_{\text{Б}}(t) dt \right) + \Phi_i \right\}.$$

Как видно из (7), $u_{\text{ФД}}(t)$ представляет собой модулированный сигнал с модулирующими функциями $f_{\text{К}}(t) = \cos \varphi_{\text{К}}(t)$ и $f_{\text{Б}}(t) = \cos \varphi_{\text{Б}}(t)$ и коэффициентами модуляции, равными $K_{f_{\text{К}}} = \frac{4\pi h_i}{\lambda} \alpha_{0\text{К}} \Omega_{\text{К}} \cos \gamma$ и $K_{f_{\text{Б}}} = \frac{4\pi h_i}{\lambda} \alpha_{0\text{Б}} \Omega_{\text{Б}} \cos \gamma$ соответственно. Из теории угловой модуляции следует, что ширина полосы модулированного сигнала с точностью до ширины полосы модулирующей функции равна удвоенному значению коэффициента модуляции. Как показывает численный анализ, для кораблей большинства классов коэффициенты модуляции $K_{f_{\text{К}}} \gg 1$ и $K_{f_{\text{Б}}} \gg 1$, а значит, в соответствии с теорией угловой модуляции [13], ширина полосы спектра процесса при угловой модуляции, вызываемой двумя или более гармоническими функциями, равна сумме соответствующих частотных полос. Поэтому ширина полосы спектра i -го ЛЦР при совместном воздействии килевой и бортовой качек также равна сумме ширин полос спектров для соответствующих видов качек:

$$\Delta F_i = \Delta F_{i\text{К}} + \Delta F_{i\text{Б}} = 2K_{i\text{К}} + 2K_{i\text{Б}} =$$

$$= \frac{8\pi h_i}{\lambda} \left(\alpha_{0\text{К}} \Omega_{\text{К}} \cos \gamma + \frac{4\pi h_i}{\lambda} \alpha_{0\text{Б}} \Omega_{\text{Б}} \cos \gamma \right). \quad (8)$$

Спектр сигнала от i -го ЛЦР $S(\omega)$ имеет ширину, которая выражается уравнением (8).

Проведя соответствующие преобразования и разложения по функциям Бесселя выражения (7), можно получить аналитическое выражение для действительной части спектра. Опираясь с действительными спектрами, под термином «спектр» мы в дальнейшем будем иметь в виду действительную часть комплексного спектра $S(\omega)$. Как можно отметить при рассмотрении этого аналитического выражения, спектр каждого i -го ЛЦР представляет собой пакет дискрет, располагаемых на частотах, кратных частотам бортовой и килевой качек и их комбинационным частотам. Величины этих дискрет в общем случае зависят как от детерминированных параметров u_i, h_i, γ , так и от случайных – фаз, обусловленных начальными моментами наблюдений.

Получение аналитического выражения для спектра сигнала сопряжено с трудностями из-за громоздкости промежуточных преобразований. Однако на основании качественного анализа можно констатировать, что в полосе спектра i -го ЛЦР количество дискрет, на частотах, кратных частотам качки и их комбинациям, резко возрастает. Кроме того, из-за «размазывания» спектральных дискрет в пределах частотных полос будет теряться детерминизм их распределения, и распределение будет приобретать характер, приближающийся к случайному.

В предположении равномерности в среднем заполнения дискретами своих полос, мощность сигнала i -го ЛЦР, распределенная в полосе ΔF_i , пропорциональна $\Delta S_i^2 \Delta F_i$, где ΔS_i – усредненное значение амплитуд, равное высоте усредненного спектра i -го ЛЦР: $\Delta S_i = \frac{u_i}{\sqrt{\Delta F_i}}$. Тогда

выражение для спектра от N ЛЦР можно записать как

$$S(f) = \sum_{i=1}^N \frac{u_i}{\sqrt{\Delta F_i}}. \quad (9)$$

На рис. 2 представлен график спектра $S(f)$, составленного из суммы N парциальных спектров с высотами и ширинами, определяемыми соотношениями (8) и (9).

Ширина полосы ΔF_i и величины ординат зависят от ряда параметров, характеризующих качку: амплитуд $\alpha_{0\text{Б}}$ и $\alpha_{0\text{К}}$, частот $\Omega_{\text{К}}$ и $\Omega_{\text{Б}}$ качки, курсового угла γ , высот h_i ЛЦР и длины волны зондирующего сигнала λ . Поскольку параметры качки, зависящие от морского волнения, и курсовой угол могут меняться в широких пределах, то использование $S(f)$ и ΔF непосредственно в качестве признака, характеризующего свойства объекта, не может привести к положи-

тельному результату. Однако, используя основное качество детерминированной модели – привязку ЛЦР к элементам архитектуры объекта, путем простых преобразований спектра $S(f)$ и ширины полосы ΔF_i можно выделить структурную информацию об объекте.

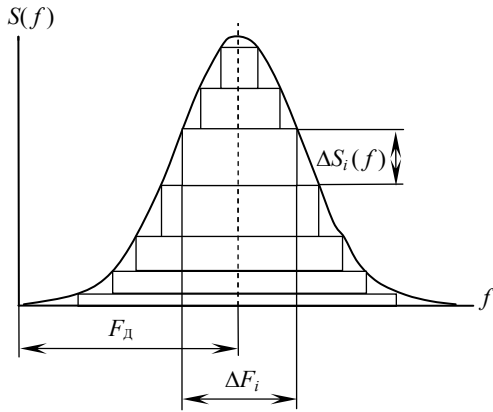


Рис. 2. График спектра $S(f)$, как сумма N парциальных спектров

Действительно, нормируя спектр $S(f)$ и ширины полосы ΔF_i , например по соответствующим максимальным значениям S_{\max} и ΔF_{\max} , из (8) и (9) получим

$$S_{kn}(f) = \frac{S_k(f)}{S_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{u_i}{\sqrt{\Delta F_i}}}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i}{\sqrt{\Delta F_i}}} = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{u_i}{\sqrt{h_i}}}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i}{\sqrt{h_i}}}; \quad (10)$$

$$\Delta F_n = \frac{\Delta F_i}{\Delta F_{\max}} = \frac{h_i}{h_{\max}}. \quad (11)$$

Как видно из (10) и (11), нормированный по ординате и ширине полосы спектр является функцией, которая определяется только структурными свойствами объекта, характеризуемые u_i и h_i .

На рис. 3 приведены нормированные экспериментальные спектры сигналов ($\lambda = 3$ см), рассеянных надводными судами ОС-90 и ОС-220, которые движутся под одним ракурсом в примерно одинаковых условиях морского волнения (1,5 – 2 балла) на дальности 9 км. Время наблюдения для каждого из судов составляло 3,5 мин. Суда значительно отличались по величине – водоизмещение ОС-90 в два раза больше, чем ОС-220.

Как можно видеть из приведенных графиков, ширины и форма огибающей спектров сигналов от этих кораблей различны и могут нести в себе информацию об особенностях пространственной структуры судов.

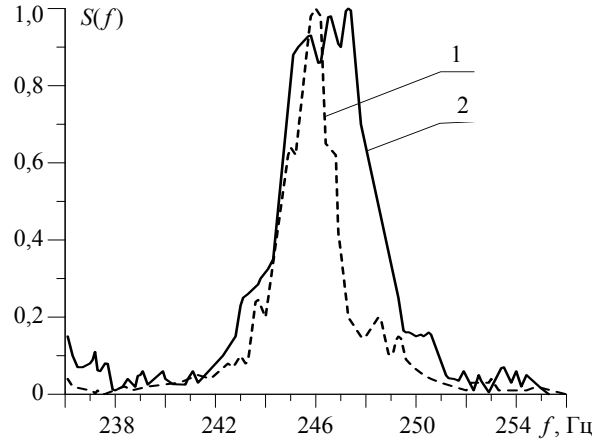


Рис. 3. Спектры сигналов, рассеянных надводными судами ОС-90 (1) и ОС-220 (2) ($\lambda = 3$ см)

Выводы. В радиолокационном сигнале от надводного объекта, качающегося на морской поверхности, содержится информация о распределении интенсивностей ЛЦР по высоте объекта, связанных с его архитектурой. Носителем этой информации является доплеровский частотный спектр радиолокационного сигнала, полученный в результате когерентной обработки сигнала от цели.

Парциальные ширины полос доплеровского спектра сигнала от качающегося объекта являются функцией высоты соответствующих ЛЦР, амплитуд и частот килевой и бортовой качек, а также курсового угла.

Полученные в результате исследований преобразования доплеровских спектров сигналов позволяют исключить из спектров неопределяемую информацию и выделить из них инвариантную характеристику: распределение интенсивностей блестящих точек цели по высоте – пространственный спектр цели.

Таким образом, предложенная математическая модель радиолокационного сигнала, рассеянного колеблющимся надводным объектом, в отличие от известных моделей, позволяет выявлять особенности пространственной структуры надводных объектов.

1. *Справочник по радиолокации* / под ред. М. Сколник; пер. с англ. под ред. К. Н. Трофимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.
2. *Островитянов Р. В.* Статистическая теория радиолокации протяженных объектов / Р. В. Островитянов, Ф. А. Басалов. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
3. *Атаянц Э. К.* Статистическая модель групповой цели / Э. К. Атаянц, С. Н. Кириллов // Тр. Рязанского радиотехн. ин-та. – 1975. – Вып. 63. – С. 3–5.
4. *Моханти Н. С.* Моделирование радиолокационных отражений от рассеивателей, движущихся случайным образом / Н. С. Моханти // Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектрон. – 1973. – 66, № 1. – С. 43–100.
5. *Казаков Е. Л.* Статистическая модель радиолокационной цели в сантиметровом диапазоне волн с учетом поляризационных свойств цели на многих частотах / Е. Л. Казаков // Радиотехника. – 1976. – 31, № 4. – С. 1–4.

6. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик. – М.: Высш. школа, 1977. – 222 с.
7. Обнаружение и распознавание объектов радиолокации / под ред. А. В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2007. – 176 с. – (Сер. «Радиолокация»).
8. Финкельштейн М. И. Основы радиолокации / М. И. Финкельштейн. – М.: Сов. радио, 1973. – 496 с.
9. Фельдман Ю. И. Теория флюктуаций локационных сигналов, отраженных распределенными целями / Ю. И. Фельдман, И. А. Мандуровский. – М.: Радио и связь, 1988. – 271 с.
10. Ремез Ю. В. Качка корабля / Ю. В. Ремез. – Л.: Судостроение, 1983. – 324 с.
11. Луговский В. В. Гидродинамика нелинейной качки судов / В. В. Луговский. – Л.: Судостроение, 1980. – 256 с.
12. Дорогостайский Д. В. Теория и устройство судна / Д. В. Дорогостайский, М. М. Жученко, Н. Я. Мальцев. – Л.: Судостроение, 1976. – 408 с.
13. Латхи Б. П. Системы передачи информации / Б. П. Латхи. – М.: Связь, 1971. – 318 с.

V. N. Gorobets, V. G. Gutnik, S. M. Zotov,
F. V. Kivva, A. A. Shapiro

MATHEMATICAL MODEL OF THE RADAR IMAGE OF THE SHIP ON SEA

The mathematical model of radar image of the ship on sea is developed. It is shown that Doppler spectrum of the signal, reflected from the ship contains the information on architecture of

the ship and dynamics of its movement. The offered model allows to reveal features of space structure of the ship. It allows to use it for the decision of some radar problems, including recognition of its radar image.

Key words: radar model, surface objects, pitching and rolling ship, radar image recognition.

В. М. Горобець, В. Г. Гутнік, С. М. Зотов,
Ф. В. Ківва, О. А. Шапіро

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОБРАЗУ КОРАБЛЯ НА МОРСЬКОМУ ХВИЛЮВАННІ

Розроблено математичну модель радіолокаційного образу корабля на морському хвилюванні. Показано, що доплерівський спектр сигналу, відбитого від корабля, несе в собі інформацію про архітектуру корабля та динаміку його руху. Запропонована модель дозволяє виявити особливості просторової структури корабля, що дає можливість використати її для вирішення ряду радіолокаційних задач, у тому числі для розпізнавання радіолокаційного образу корабля.

Ключові слова: радіолокаційна модель, надводні об'єкти, хитавиця корабля, розпізнавання радіолокаційного образу.

Рукопись поступила 12.09.11 г.