

АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ СИЛЫ ЦЕЛИ, КАК ПАРАМЕТРА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВЫХ ОПИСАНИЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ

ANALYZING THE TARGET STRENGTH AS A PARAMETER TO FORM A FEATURE VECTOR OF THE TRAINING SAMPLE FOR THE INTELLECTUAL TARGET CLASSIFICATION SYSTEM

V. Pyatakovich
A. Vasilenko

Summary. The target strength which characterizes the reflectivity of a marine technical object, depends on a number of factors. In the article, only some of them are analyzed, namely, the effect that geometric dimensions of a hull, course angles, the speed of an object, the location distance and frequency have on the value of the target strength of an object. The averaged values of the characteristics of the secondary hydroacoustic field for an ellipsoid of rotation, simulating the hull of a technical object, are presented, depending on its displacement, shape and dimensions. The comparison method is discussed, which makes it possible to determine the target strength of small ships within short distances and ships with large displacement. The data from public sources on the ballpark values of the target strength of the US and NATO marine technical objects for the sonar frequency range of 3 to 20 kHz at the traverse and sharp course angles are given.

Keywords: target force, secondary hydroacoustic field, reflected signal, marine technical object, comparison method.

Пятакович Валерий Александрович

К.т.н., доцент, профессор АВН, ФГКВБОУ ВО «ТОБВМУ
имени С. О. Макарова» (г. Владивосток)
pva.877com@mail.ru

Василенко Анна Михайловна

К.т.н., ФГКВБОУ ВО «ТОБВМУ имени С. О. Макарова»
(г. Владивосток)
kahunya@gmail.com

Аннотация. Сила цели, характеризующая отражающую способность морского технического объекта, зависит от ряда факторов. В статье проанализированы только некоторые из них, а именно влияние геометрических размеров корпуса, курсовых углов локации, скорости хода объекта, расстояния и частоты локации на изменения величины силы цели объекта. Представлены осредненные значения характеристик вторичного гидроакустического поля для эллипсоида вращения, имитирующего корпус технического объекта, в зависимости от его водоизмещения, формы и размеров. Рассмотрен метод сравнения позволяющий определить силу цели малых кораблей на коротких дистанциях и кораблей большого водоизмещения. Приведены данные открытой печати об ориентировочных значениях силы цели морских технических объектов США и стран НАТО для диапазона частот гидролокации от 3 до 20 кГц на траверзных и острых курсовых углах.

Ключевые слова: сила цели, вторичное гидроакустическое поле, отраженный сигнал, морской технический объект, метод сравнения.

В гидроакустике за опорное расстояние принимается один метр (International standard IEC50 (801) International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 801: Acoustics and electroacoustics), тогда отражающая способность морского технического объекта (МТО) будет определяться параметром, который и называется силой цели (target strength) т.е. десять логарифмов отношения интенсивности отраженного звука на единичном расстоянии от МТО к интенсивности падающей звуковой волны.

Следовательно, сила цели (СЦ) равна:

$$T_{r=1} = 10 \lg \frac{J_2}{J_1}$$

Сила цели морского технического объекта зависит от многих конструктивных и эксплуатационных факто-

ров. Основными из них являются геометрические размеры и формы обводов корпуса [1], курсовые углы локации, скорость хода корабля, расстояние и частота локации. СЦ МТО является функцией курсового угла, причем она достигает максимального значения на траверзных углах и минимальное на острых углах. При измерениях имеется большой разброс величин СЦ МТО, однако осредненные данные дают некоторое представление о зависимости силы цели подводных технических объектов (ПТО) от курсового угла. Типичный график этой зависимости представлен на рис. 1.

На траверзных направлениях уровни достигают 35 дБ и обуславливаются зеркальным отражением от корпуса. Уменьшение уровней на острых носовых и кормовых углах вызывается экранирующим свойством корпуса (противогидролокационного корпусного покрытия)

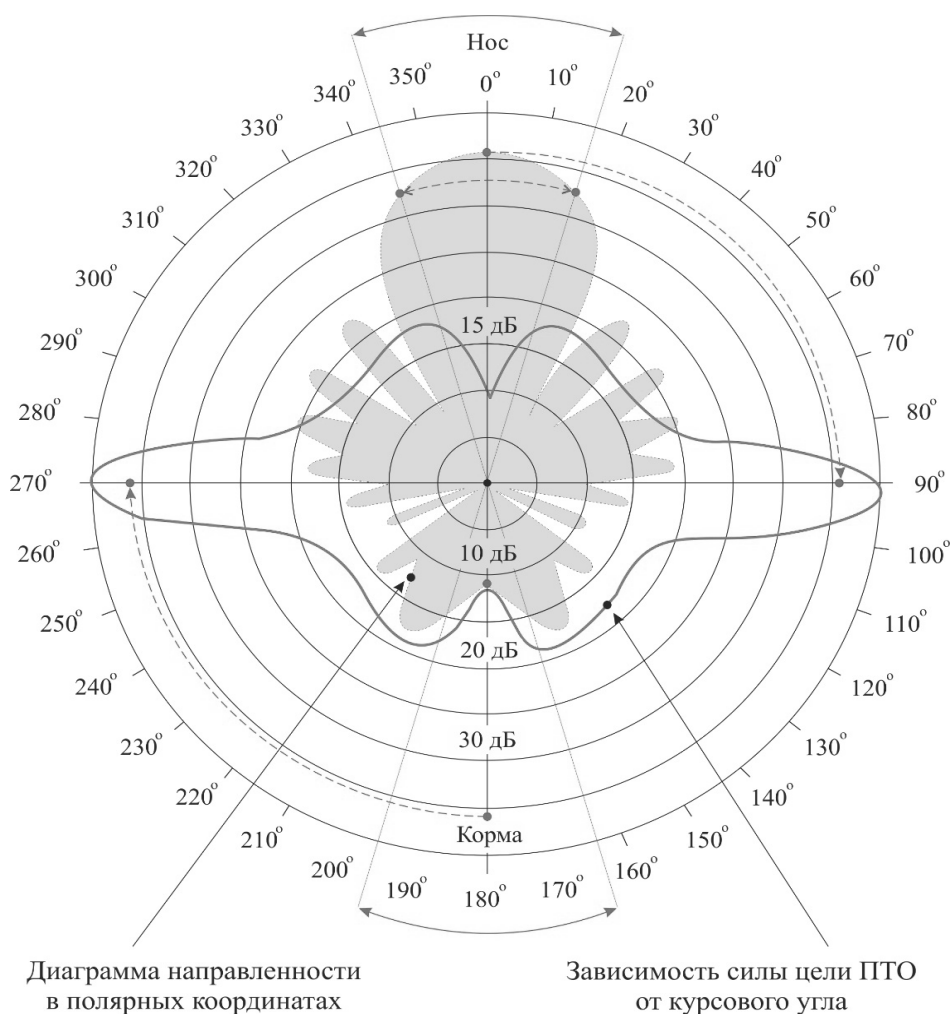


Рис. 1. График зависимости силы цели подводного объекта от курсового угла

и кильватерной струи. Часто такие «провалы» уровней отсутствуют и на этих углах уровни поля составляют 12–15 дБ.

Некоторое повышение уровней на курсовых углах, примерно 20°, связано с отражением от межкорпусного набора [1–5] и балластных цистерн. Форма отраженного сигнала на других курсовых углах близка к круговой из-за наличия многочисленных источников, отражения от которых суммируются с различными фазовыми соотношениями.

При проектировании МТО, особенно подводных, важно знать зависимость силы цели от размеров и форм обводов корпуса. Поскольку корпуса МТО имеют сложную форму, то такую зависимость можно установить только экспериментально. Однако величину отраженного сигнала можно оценить из графиков, составляющих вторичного гидроакустического поля эллипсоида вращения, представленных на рис. 2.

На этих графиках сплошными (зелеными) линиями показано изменение зеркальной составляющей, а пунктирными (красными) — диффузной составляющей. На рис. 2, а кривые 1 соответствуют водоизмещению — 4500 т, а кривые 2 — водоизмещению 500 т. На рис. 2, б кривые 1 соответствуют относительному удлинению эллипсоида вращения $L/B = 6$, а кривые 2 — $L/B = 16$.

На рис. 2, в кривые 1 соответствуют степени сплюснутости $H/B = 4$, а кривая 2 — $H/B = 0,25$. СЦ МТО возрастает с увеличением его скорости хода, что обусловливается образованием пограничного слоя и кильватерной струи, насыщенных пузырьками газа. В результате в гидролокационном сигнале увеличиваются зеркальная составляющая и особенно диффузная составляющая. Связано это с тем, что на больших скоростях хода пелена пузырьков как бы экранирует корпус и диффузная составляющая резко возрастает. Имеющиеся экспериментальные данные [2, 3, 7, 8] показывают, что сила цели увеличивается прямо пропорционально скорости хода и зависит

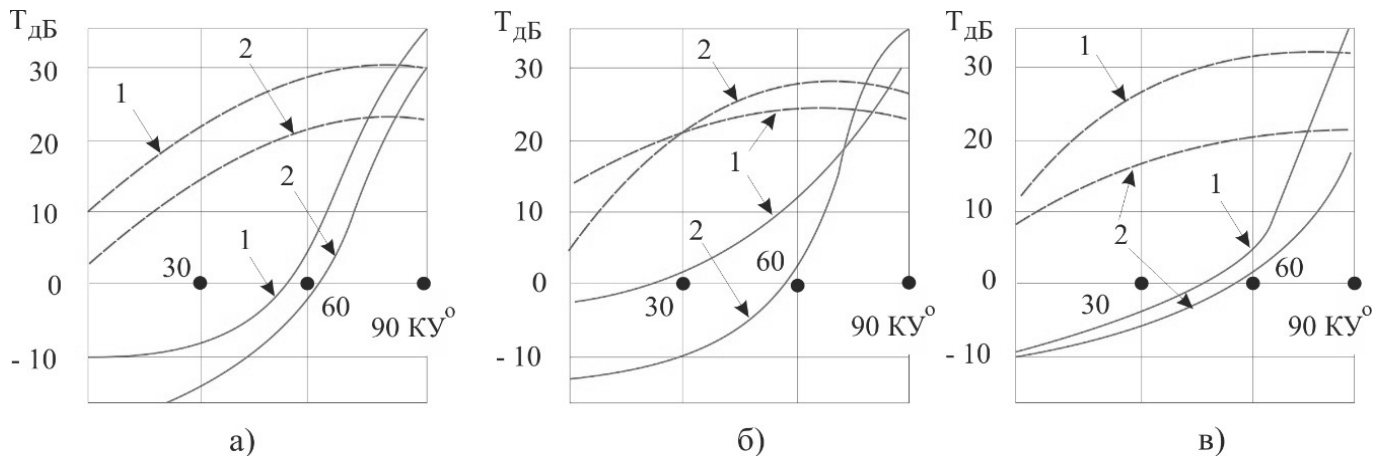


Рис. 2. Составляющие вторичного гидроакустического поля эллипсоида вращения

и от расстояния локации. На малых расстояниях она должна быть меньше, чем на больших.

Во-первых, при использовании направленного лоатора на малых расстояниях не обеспечивается полное облучение всего МТО.

Во-вторых, эхо-сигнал от кораблей, имеющих сложную геометрическую форму, спадает с расстоянием не так, как сигнал от точечного источника.

Это обстоятельство особенно отражается на величине зеркальной составляющей. Действительно, зеркальное отражение от поверхности двойкой кривизны зависит от величин главных радиусов кривизны P_1 и P_2 , а также расстояния локации r . СЦ МТО будет равна

$$T = 10 \lg \left[\frac{1}{4} \frac{P_1 P_2 r^2}{(r + P_1)(r + P_2)} \right].$$

В случае больших расстояний ($r \Rightarrow P_1$ и P_2) СЦ МТО не зависит от r , т.е.

$$T = 10 \lg \left(\frac{P_1 P_2}{4} \right).$$

Если расстояние локации соизмеримо с главными радиусами кривизны, то СЦ МТО уменьшается.

Значения силы цели также зависят от частоты локации. Эта зависимость связана с отражением звука как от корпусных конструкций больших размеров, так и частей корабля малых размеров по сравнению с длиной волны. Естественно, что с ростом частоты локации возрастает роль конструкций малых размеров в отраженном сигнале.

Некоторые авторы [6] утверждают, что выделить зависимость СЦ от частоты локации очень трудно и до-

стоверные данные отсутствуют. Однако опыт указывает на наличие такой зависимости и в диапазоне частот локации от 2 до 20 кГц рекомендуется использовать следующее соотношение:

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma 0} \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{1/5},$$

где $R_{\Sigma 0}$ — эквивалентный радиус на частоте локации $\varphi_0 = 2$ кГц. Отсюда видно, что изменение частоты локации в 10 раз приводит к увеличению силы цели на 4дБ.

Теоретически доказывается, что на уровень эхо-сигнала оказывает влияние длительность посылки импульса гидролоатора τ . В каждый данный момент времени отраженные от подводного объекта звуковые волны в точке приема складываются, приходя из возмущенной зоны, протяженность которой равна половине произведения скорости звука на длительность импульса $c\tau/2$.

Естественно, что если МТО имеет линейный размер в направлении распространения волны $L > c\tau/2$, то зависимость силы цели от длительности импульса не проявляется. Если $L < c\tau/2$, то эхо-сигнал будет меньше, чем в первом случае. Таким образом, из-за неполного облучения МТО при коротких импульсах СЦ снижается. Возрастание силы цели с увеличением длительности импульса происходит до тех пор, пока τ не достигает значения, при которой все точки МТО в некоторый момент времени одновременно вносят вклад в эхо-сигнал, т.е. при $\tau = \tau_0$. Однако к этой зависимости нужно подходить с осторожностью, поскольку она не получила широкого экспериментального подтверждения.

СЦ определяется экспериментально в море как путем прямых замеров, так и методом сравнения. При прямых замерах измеряется звуковое давление эхо-сигнала

на различных расстояниях от МТО. Затем вычисляется интенсивность эхо-сигнала по известным значениям мощности источника звука, коэффициента концентрации антенны и коэффициента затухания звука,

$$J = \frac{N_a \gamma R_{\text{ЭК}}^2}{16\pi r^4} 10^{-0,2\beta r}, \quad (1)$$

где N_a — излучаемая станцией мощность;
 γ — коэффициент осевой концентрации антенны;
 r — расстояние между сферой и станцией;
 β — коэффициент поглощения звуковой энергии;
 $R_{\text{ЭК}}$ — радиус эквивалентной сферы.

Далее по уравнению

$$T_{r=1} = 10 \lg \frac{J_2}{J_1} = 10 \lg \frac{R_{\text{ЭК}}^2}{4} = 20 \lg \frac{R_{\text{ЭК}}}{2} \quad (2)$$

находится сила цели. Такое определение СЦ МТО обычно сопровождается значительными ошибками, происходящими главным образом из-за неточного знания законов распространения звука в море. Формулы для определения СЦ не учитывают рефракции, наложения прямого и отраженных сигналов от дна и поверхности моря. Так, если существует наложение этих сигналов, то значение СЦ может вырасти до 6 дБ по сравнению со значениями, вычисленными по указанным уравнениям. Существенную ошибку в определении СЦ вносит неточное знание коэффициента поглощения звуковой энергии в среде. Значительный разброс значений СЦ также связан с флуктуациями сигналов в море. Только по этой причине отклонение значений силы цели от среднего значения может составлять 10–15 дБ.

Сущность метода сравнения заключается в сравнении уровней отраженных сигналов от корабля и эталонной сферы, расположенной на известном расстоянии.

Запишем уравнение (1) для корабля

$$J_{\text{ЭК}} = \frac{N_a \gamma R_{\text{ЭК}}^2}{16\pi r^4} 10^{-0,2\beta r} \quad (3)$$

и для эталонной среды

$$J_{\text{ЭК.0}} = \frac{N_a \gamma R_{\text{ЭК.0}}^2}{16\pi r_0^4} 10^{-0,2\beta r_0}, \quad (4)$$

где r_0 и $R_{\text{ЭК.0}}$ — расстояние до эквивалентной сферы и её эквивалентный радиус соответственно. Считаем, что изменением расстояния r_0 можно достичь равенства силы отраженных сигналов $J_{\text{ЭК}} = J_{\text{ЭК.0}}$.

Тогда разделив (3) на (4), получим

$$R_{\text{ЭК}} = R_{\text{ЭК.0}} \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 10^{0,1\beta(r-r_0)}.$$

В заключение необходимо отметить, что зная радиус эквивалентной сферы и расстояние до нее, по последней формуле легко определить эквивалентный радиус МТО. В этом методе также трудно учесть влияние неточности коэффициента β , однако другие неточности устраняются, и ошибка в определении СЦ значительно меньше.

Метод сравнения удобен для измерения СЦ малых кораблей на коротких дистанциях. Для морских технических объектов большого водоизмещения возникают трудности при замере СЦ методом сравнения. Они вызваны сложностью управления положением эталонной сферы на больших расстояниях и необходимостью иметь несколько сфер различных размеров. Достаточно достоверная методика определения силы цели МТО, к сожалению, полностью не отработана. Это можно объяснить отсутствием специальных полигонов для исследования вторичного гидроакустического поля морского технического объекта. Все данные по вторичному гидроакустическому полю кораблей являются результатом расчетов или отдельных измерений в море при помощи штатных корабельных гидроакустических средств.

По данным некоторых источников [9–11] ориентировочные значения силы цели морских технических объектов США и стран НАТО изменяются в следующих пределах при диапазоне частот гидролокации от 3 до 20 кГц: малый подводный технический объект на траверзных курсовых углах 30–35 дБ, на острых курсовых углах 15–25 дБ; большой подводный технический объект на траверзных курсовых углах 35–45 дБ, на острых курсовых углах 20–30 дБ; надводные корабли на траверзных курсовых углах 15–30 дБ, на острых курсовых углах 10–25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пятакович В. А., Василенко А. М., Алексеев О. А., и др. Подводное кораблестроение в СССР (1945–1970): монография. — Владивосток: ТОВВМУ, 2016. — 292 с.
2. Пятакович В. А., Василенко А. М., Мироненко М. В. Технологии нелинейной просветной гидроакустики и нейро-нечетких операций в задачах распознавания морских объектов: монография. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. — 190 с. ISBN978–5–7444–3790–9.

3. Пятакович В. А., Василенко А. М., Хотинский О. В. Распознавание и классификация источников формирования полей различной физической природы в морской среде: монография — Владивосток: Морской гос. ун-т им. Г. И. Невельского, 2017. — 255 с. ISBN 978-5-8343-1066-2.
4. Мироненко М. В., Пятакович В. А., Василенко А. М., Результаты экспериментальных исследований способа определения профиля морского объекта и реализующей его системы. Мониторинг. Наука и технологии. — 2017. — № 2(31) — С. 64–69.
5. Малашенко А. Е., Мироненко М. В., Чудаков М. В., Пятакович В. А., Дальний параметрический прием электромагнитных волн, формируемых техническими источниками в морской среде. Датчики и системы — М.: 2016. — № 8–9 (206). — С. 14–18.
6. Урик Р. Д., Основы гидроакустики, Л.: Судостроение, 1978, пер. с англ., 448 с.
7. Пятакович В. А., Василенко А. М. Обработка размерности признакового пространства для задач классификации морских технических объектов нейросетевой экспертной системой // Современные наукоемкие технологии. — М.: 2017. № 8. С. 50–55.
8. Пятакович В. А., Василенко А. М., Рычкова В. Ф. Новые технологии формирования системы мониторинга и идентификации признаков полей морских объектов // Морские интеллектуальные технологии. — СПб.: 2017. № 4 (38) Том 3. С. 127–131.
9. Основные характеристики гидроакустических средств подводных лодок и боевых надводных кораблей ВМС США, Франции и Германии. Справка. Санкт-Петербург: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 1999. — 18с.
10. Подводная акустика и обработка сигналов. /Пер. с англ.: Под ред. Бьёрне. М. Мир, 1985. — 484с.
11. Борисенко К. П. Автоматические системы и технические средства корабельных комплексов. Гидроакустические комплексы надводных кораблей. Принципы построения и решаемые задачи / К. П. Борисенко, В. Б. Митько. — СПб.: СПбГМТУ, 2012. — 236 с

© Пятакович Валерий Александрович (pva.877com@mail.ru), Василенко Анна Михайловна (kahunya@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



ТОВВМУ имени С. О. Макарова