

УДК 623.983

О. Г. ЛЕЙКО, доктор технічних наук*(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ),***А. В. ДЕРЕПА**, кандидат технічних наук,**О. О. КОЧАРЯН**, науковий співробітник*(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки, м. Київ)*

Акустичні особливості інформаційної гідроакустичної системи «морське середовище – надводний корабель – гідроакустична станція» та можливості впливу на неї

Наведені результати досліджень щодо акустичних особливостей розміщення гідроакустичної інформації про підводну обстановку в морському середовищі, акустичних особливостей надводного корабля як носія засобів одержання гідроакустичної інформації про підводну обстановку, акустичних особливостей гідроакустичного озброєння як первинного джерела одержання гідроакустичної інформації в системі висвітлення підводної обстановки та проаналізовані можливості впливу на них з метою підвищення ефективності інформаційної гідроакустичної системи, що розглядається.

Приведены результаты исследований размещения гидроакустической информации о подводной обстановке в морской среде, акустических особенностей надводного корабля как носителя средств получения гидроакустической информации о подводной обстановке, акустических особенностей гидроакустического вооружения как первичного источника получения гидроакустической информации в системе освещения подводной обстановки и проанализированы возможности влияния на них с целью повышения эффективности рассматриваемой информационной гидроакустической системы.

Одним з елементів системи державної безпеки морських держав є комплексна система висвітлення підводної обстановки в морських районах, що являють інтерес для цих держав. Вона містить два компоненти: стаціонарний та маневрений. Стаціонарний компонент утворюється мережею позиційних автоматизованих радіогідроакустичних або кабельних гідроакустичних станцій (ГАС). Маневрений компонент містить корабельні ГАС та гідроакустичні комплекси (ГАК) і авіаційні пошуково-прицільні комплекси, що включають вертолітні гідроакустичні станції та авіаційні радіогідроакустичні буї.

У військово-морських флотах провідних морських держав і, насамперед, країн НАТО найсерйозніша увага приділяється розвитку корабельного гідроакустичного озброєння (ГО). Склад корабельного ГО визначається задачами, що вирішуються, районами використання та можливостями розміщення антен і бортової апаратури на кораблях, а також наявністю сучасних гідроакустичних технологій і фінансових можливостей держави.

Проблема підвищення ефективності ГО надводних кораблів (НК) існує з моменту появи цього виду озброєння. Складність її повного рішення викликана причинами виникнення самої проблеми. Ці причини обумовлені тим, що функціонування ГО є результатом акустичної взаємодії між собою фізичних процесів, які виникають при роботі ГО в трьох фізично пов'язаних між собою складових частинах, що забезпечують його роботу: морському середовищі у вигляді водних мас Світового океану, носії ГО у вигляді НК та власне ГО у вигляді ГАС різного призначення.

Морське середовище, що являє собою повний гідроакустичний інформаційний простір, характеризується складними гідрологакустичними властивостями, які визначальним чином впливають на формування акустичного поля в цьому просторі.

НК в акустичному відношенні характеризується рядом особливостей, починаючи з того, що він розташовується на поверхні розділу двох середовищ: повітря та води – з їх акустичними властивостями, що різко відрізняються, і закінчуючи складними імпедансними властивостями та особливостями випромінювання або прийому звуку різними частинами його корпусу.

ГО має власні акустичні властивості як за принципами побудови, так і за фізичними особливостями свого конструктивного виконання.

Природно, що така розмаїтість акустичних властивостей кожної з взаємодіючих складових частин, які визначають ефективність ГО, повинна знайти відображення в наукових основах підвищення цієї ефективності. Природним є також розуміння всієї надзвичайної складності математичного опису викладених вище процесів і відсутність у різні періоди необхідного рівня знань як щодо фізичного розуміння процесів, що відбуваються, так і щодо їхнього математичного опису.

Метою цієї статті є дослідження акустичних особливостей розміщення гідроакустичної інформації про підводну обстановку в морському середовищі, акустичних особливостей НК як носія засобів одержання гідроакустичної інформації про підводну обстановку, акустичних

особливостей ГО як первинного джерела одержання гідроакустичної інформації в системі висвітлення підводної обстановки.

1. Акустичні особливості розміщення гідроакустичної інформації про підводну обстановку в морському середовищі

У морському середовищі гідроакустична інформація про стан підводної обстановки знаходиться у вигляді акустичних полів. Це можуть бути акустичні поля, фізичними характеристиками яких є акустичний тиск та коливальна швидкість. Ці поля існують у вигляді акустичних хвиль, що в залежності від умов поширення поділяють на плоскі, циліндричні та сферичні хвилі. На поширення таких хвиль в морському середовищі суттєвий вплив здійснюють гідрофізичні поля морського середовища, що характеризуються значною просторово-часовою мінливістю. У цілому ж акустичне поле в будь-якій точці морського середовища формується в результаті таких процесів поширення акустичних хвиль, як рефракція, інтерференція, дифракція, відбиття, поглинання та затухання. У кількісному відношенні наведені фізичні явища описуються за допомогою таких фізичних характеристик морського середовища, як коефіцієнти заломлення, поглинання, відбиття та розсіювання звуку морською поверхнею, водними масами та морським дном. Саме взаємодія наведених явищ між собою в морському середовищі при певному розміщенні систем «НК-ГАС» і шуканих об'єктів, що визначають стан підводної обстановки в контрольованому морському середовищі, відносно один одного та морських границь і обумовили появу акустичних особливостей цього середовища, які суттєвим чином впливають на характер розміщення гідроакустичної інформації про підводну обстановку.

Розглянемо більш детально акустичні особливості морського середовища.

Строге визначення акустичних полів у морських середовищах можливе шляхом розв'язку хвильового рівняння при заданих граничних та початкових умовах. Задача ускладнюється тим, що в реальних середовищах швидкість звуку c є функцією просторових координат (x, y, z) . У першому наближенні змінами швидкості в залежності від координат x та y можливо знехтувати. Така модель відповідає так званому шарово-неоднорідному морському середовищу, в якому швидкість звуку c є функцією тільки глибини: $c(z)=c(h)$. У таких умовах строгий розв'язок хвильового рівняння здійснюється методом нормальних хвиль. Але такий підхід обумовлює появу значних труднощів як математичного та обчислювального планів, так і пов'язаних з можливостями фізичної інтерпретації одержаних результатів для всього різноманіття розподілів $c(z)$, що мають місце в морській практиці.

Названі труднощі обумовили необхідність розробки наближених методів розрахунків акустичних полів в морських середовищах, до яких, у першу чергу, відносяться методи, що базуються на променевій

(геометричній) теорії. Ця теорія є асимптотичним розв'язком хвильової теорії і дає задовільні результати в області високих частот. Її перевагами є відносна простота, наочність, можливість оцінки акустичного поля практично для будь-яких профілів швидкості звуку $c(z)$. Тому вона знайшла широке застосування в практичній гідроакустиці. Основою променевої теорії акустичного поля є уявлення про акустичні промені, що перпендикулярні до хвильової поверхні [1].

Як уже відзначалося, для формування акустичних полів у морському середовищі важливе значення має швидкість звуку c . При цьому важливе не абсолютне її значення, а форма (профіль) кривої швидкості звуку в залежності від глибини $c(h)$, тобто розподіл градієнта швидкості звуку за глибиною h . При одному профілі $c(h)$ дальність поширення звуку, яка і є шуканою гідроакустичною інформацією про стан підводної обстановки, може досягати сотень і навіть тисяч кілометрів, а при іншому профілі $c(h)$ звук тієї ж частоти має дальність поширення лише одиниці або десятки кілометрів. Вид профілю $c(h)$ різний в різних морських районах і змінюється в часі. Найбільші зміни відбуваються у верхніх шарах, де вони обумовлені сезонними та добовими змінами температури та солоності. На глибинах більше кілометра температура та солоність звичайно мало змінюються за глибиною, і зростання швидкості звуку обумовлене майже виключно зростанням гідростатичного тиску [1]. Як наслідок, на великих глибинах швидкість звуку зростає майже лінійно із збільшенням глибини. Вертикальний градієнт швидкості звуку в більшості морських районів майже в тисячу разів більший горизонтального. У результаті в першому наближенні морське середовище можливо розглядати як плоскостратифіковане. Це означає, що його акустичні властивості змінюються тільки за глибиною та залишаються сталими в горизонтальних площинах.

Стратифікація морського середовища суттєвим чином впливає на характер знаходження гідроакустичної інформації в ньому, а відтак і на шляхи її одержання із середовища системами «НК-ГАС».

1.1. Особливості розміщення гідроакустичної інформації в глибокому морі. На великих глибинах розподіл швидкості поширення звуку за глибиною є дуже різноманітним [1]. У зв'язку з цим визначають два протилежні випадки поширення гідроакустичної інформації: антихвильовий і хвильовий. У першому випадку має місце інтенсивний відбір частини енергії в шарах, що лежать нижче. У другому випадку значна частина енергії гідроакустичного сигналу утримується каналом і поширюється на великі відстані.

1.1.1. Антихвильове поширення гідроакустичної інформації. Антихвильовому поширенню гідроакустичної інформації відповідає зменшення швидкості звуку за глибиною, обумовлене зниженням температури (рис. 1). Частіше всього це відбувається внаслідок інтенсивного прогрівання верхніх шарів морського середовища під впливом сонячної радіації. На променевій картині всі промені повертають вниз.

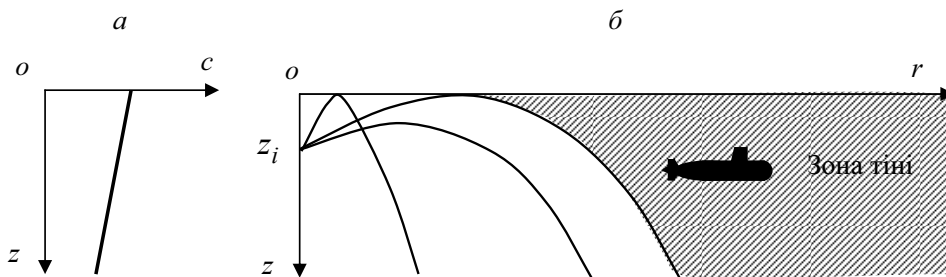


Рис. 1. Створення зони геометричної тіні при монотонному убутанні швидкості звуку:
 а – профіль $c(z)$; б – променева картина

Промінь, який дотикається морської поверхні, є граничним. Заштрихована на рис. 1 область являє собою зону геометричної тіні. Для типових морських умов відстань до зони тіні дорівнює всього кільком кілометрам. Зона тіні характеризується зменшенням рівня акустичного сигналу більше ніж на 100 дБ. Взагалі зона геометричної тіні не є зоною нульової інтенсивності звуку. В ідеальному випадку звук потрапляє в зону тіні внаслідок дифракції. У реальних випадках у зону тіні попадають також промені, відбиті від морського дна, розсіяні на випадкових неоднорідностях морського середовища тощо.

Можливі шляхи зміни морської області, з якої може бути отримана гідроакустична інформація, полягають в переміщенні гідроакустичної антени ГАС системи «НК-ГАС» із зони тіні або зменшенні робочої частоти ГАС.

1.1.2. Підводний звуковий канал. Підводний звуковий канал (ПЗК) характеризується регулярною зміною позитивної та від'ємної рефракції променів з повним внутрішнім відбиттям на горизонтах, де швидкість звуку більша мінімального значення на осі каналу. ПЗК має важливу акустичну особливість з погляду наявності гідроакустичної інформації, яка полягає в тому, що порівняно із сферичним законом поширення звукових хвиль рівень гідроакустичного сигналу в хвилеводі збільшується до 10 дБ на порядок відстані його поширення. ПЗК буває кількох типів.

Підводний звуковий канал першого типу (рис. 2). Утворюється в глибоководних районах, коли на якійсь глибині h_m є мінімальне значення швидкості звуку. Ця глибина називається віссю ПЗК.

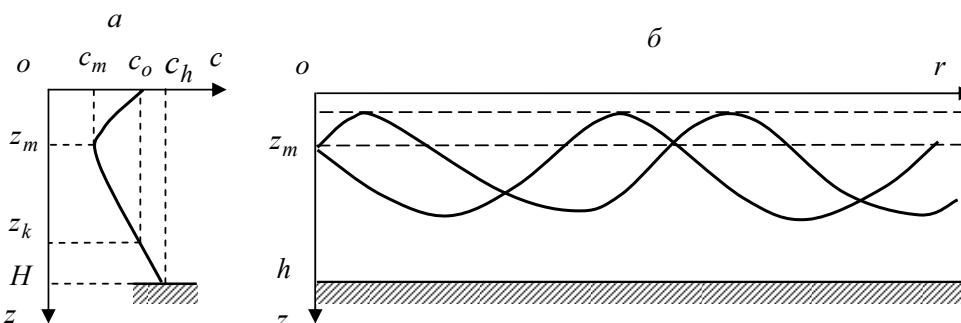


Рис. 2. Підводний звуковий канал першого типу ($c_o < c_h$):
 а – профіль $c(z)$; б – променева картина

При відході від осі ПЗК вгору швидкість звуку зростає в основному через підвищення температури, при відході вниз – через зростання гідростатичного тиску. Якщо гідроакустична антена системи «НК-ГАС» розміщена на осі каналу або поблизу неї, то частина звукових хвиль «захоплюється» ПЗК і поширюється в ньому, не торкаючись ні морського дна, ні морської поверхні, і таким чином не розсіюється і не поглинається його границями. Промінь, що вийшов з гідроакустичної антени, буде знову і знову повертатись до осі ПЗК. Таке поширення звуку називається хвилеводним, а гідроакустична інформація, яку воно несе, займає значний морський простір. Чим більша різниця значень швидкостей звуку на границях каналу і його осі, тим в більш широкому інтервалі кутів захоплюються промені, що збільшує значення ПЗК як ефективного джерела гідроакустичної інформації. Звичайно глибина розміщення осі ПЗК у морському середовищі складає 1000–1200 м, у тропічних зонах вона опускається до 2000 м, а в помірних широтах розміщується ближче до поверхні.

Підводний звуковий канал другого типу (рис. 3). Існує в менш глибоководних районах і має протяжність від морського дна до глибини h , на якій швидкість звуку становить c_h . Канальні промені не проникають вище горизонту z_k . У цю зону потрапляють лише промені, що відбиваються від морського дна.

Максимальна дальність поширення гідроакустичної інформації в ПЗК обмежується головним чином поглинанням звуку в морській воді. Акустичні сигнали, що мають достатньо низькі частоти і для яких поглинання

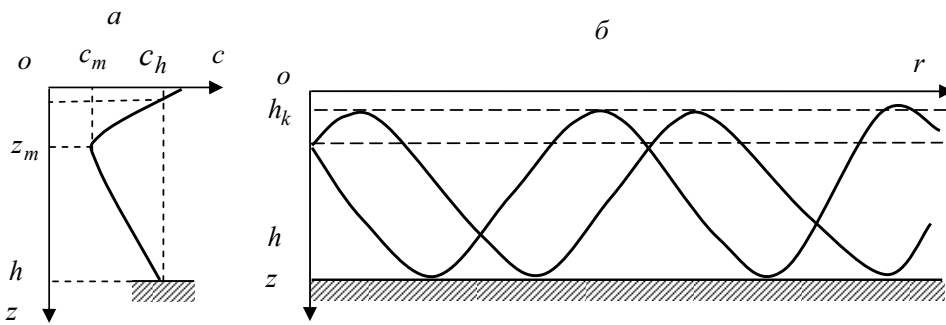


Рис. 3. Підводний звуковий канал другого типу ($c_o > c_h$):
 а – профіль $c(z)$; б – променева картина

мале, можуть поширюватись на великі відстані. Таким чином, в ПЗК гідроакустична інформація існує на відстанях, що складають сотні і тисячі кілометрів.

Ряд цікавих акустичних особливостей у наявності гідроакустичної інформації в морському середовищі виникає при розміщенні гідроакустичної антени ГАС системи «НК-ГАС» поблизу морської поверхні. На променевій картині (рис. 4) чітко видно типову для ПЗК «зональну структуру» акустичного поля, створюваного системою «НК-ГАС» з такою антеною. Вона являє собою послідовність опромінених зон і зон геометричної тіні $A_1, A_2 \dots, A_1, A_2 \dots$, що чергуються між собою. У них не потрапляють «каналні» звукові промені. У міру наближення гідроакустичної антени до осі ПЗК протяжність зон тіні зменшується, а опромінених зон збільшується. Якщо горизонт випромінювання акустичного сигналу співпадає з віссю ПЗК, то на цьому горизонті зони тіні зникають. У точку, де розміщена приймальна гідроакустична антена ГАС поблизу від осі ПЗК, приходять ряд променів. Ця багатопроменевість є характерною особливістю поширення гідроакустичної інформації в ПЗК.

Ще однією акустичною особливістю поширення гідроакустичної інформації в ПЗК є поява зон збільшеної інтенсивності гідроакустичного сигналу, так званих зон конвергенції або дальніх зон акустичної освітленості (ДЗАО). Вони обумовлені виходом променів на малі глибини після їх повороту в глибинних шарах морського середовища та їх відповідним згушенням.

Елементами зон конвергенції для заданого розміщення гідроакустичної антени системи «НК-ГАС» є відстань до зони, її протяжність та товщина. Для типових морських умов відстань до першої зони конвергенції становить 50–70 км, до другої – 100–140 км і так далі. Протяжність першої зони може бути 10–15 км, другої – 20 км. Товщина першої зони досягає кількох сотень метрів. Розміри зон освітленості та тіні із збільшенням номера зони поступово змінюються: горизонтальна протяжність освітлених зон збільшується, а протяжність і товщина зон тіні зменшується. При сприятливих умовах може мати місце 10–11 зон конвергенції. У подальшому зони конвергенції перекриваються, утворюючи суцільну зону акустичної освітленості. Зрозуміло, що умови формування ДЗАО та їх параметри мають значний практичний інтерес з погляду розміщення гідроакустичної інформації.

Приповерхневий звуковий канал (рис. 5). Вісь цього каналу знаходиться на морській поверхні. Швидкість звуку зростає до глибини h , а потім починає зменшуватися.

Промені, що виходять з гідроакустичної антени ГАС системи «НК-ГАС» під кутом ковзання χ_{∞} , який являє собою кут ковзання граничного променя, що торкається нижньої границі приповерхневого каналу, поширюються шляхом багаторазових відбиттів від морської поверхні, повертаючись вище нижньої границі каналу.

Якщо морська поверхня є рівною, то промені, що несуть гідроакустичну інформацію, утримуються в межах

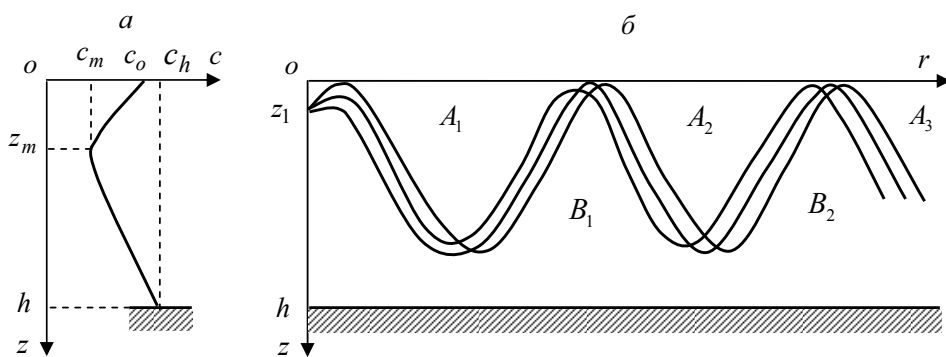


Рис. 4. Типова зональна структура звукового поля в ПЗК ($c_o > c_h$):
 $A_1, A_2 \dots$, – опромінені зони; $B_1, B_2 \dots$, – зони тіні

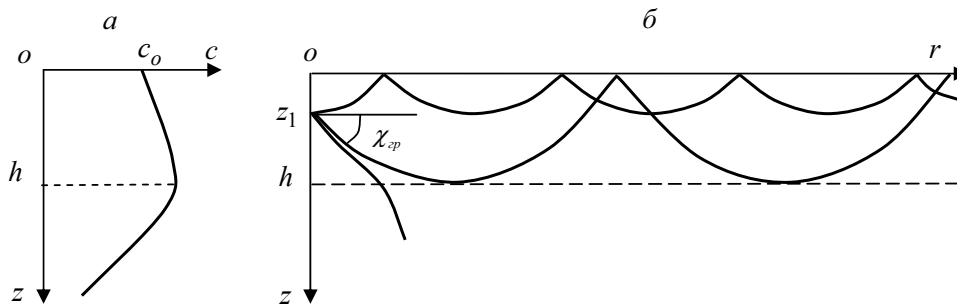


Рис. 5. Приповерхневий звуковий канал:
а – профіль $c(z)$; б – променева картина

каналу на будь-яких відстанях і обумовлюють хвилеподібне поширення гідроакустичної інформації. Якщо на морській поверхні є хвилі, то при кожному контакті променя з цією поверхнею частина гідроакустичної інформації у вигляді звукової енергії буде розсіюватись під кутом $\chi > \chi_{\text{ад}}$.

Цей вихід звукової енергії за межі каналу обумовить, з одного боку, ослаблення енергетичної складової гідроакустичної інформації в каналі, з іншого – появу гідроакустичної інформації в області, що лежить нижче приповерхневого каналу.

Двохосьовий підвдний звуковий канал (рис. 6). Цей випадок поширення гідроакустичної інформації частіше всього має місце, коли є як приповерхневий, так і глибинний звукові канали.

Одна вісь каналу знаходиться на морській поверхні, друга – на глибині h_m . На променевій картині для гідроакустичної антени ГАС системи «НК-ГАС», що розміщена у верхньому каналі, промінь 2 в основному знаходиться в нижньому каналі. Деякі промені (промінь 3), що попередньо належали верхньому каналу, можуть у результаті розсіювання на хвилястій морській поверхні перейти в промені нижнього каналу.

1.2. Особливості розміщення гідроакустичної інформації в мілкому морі. Мілке море характеризується такими умовами поширення гідроакустичної інформації, коли будь-який промінь, що виходить з гідроакустичної антени ГАС системи «НК-ГАС», буде відбиватися від морського дна (рис. 7).

Така ситуація має місце в мілких морях особливо в літньо-осінній період, коли верхні шари морської води добре прогриваються. Оскільки при кожному відбитті від дна промінь суттєво ослаблюється, поширення гідроакустичних сигналів на великі відстані пов'язано з великими енергетичними втратами. Тому має місце високий ступінь просторово-часової мінливості рівня та фази гідроакустичного сигналу з появою завмирання до 50 дБ за 1–5 хвилин.

1.3. Особливості розміщення гідроакустичної інформації при наявності шару стрибка. Шар стрибка (див. рис. 5) характеризується зміною позитивної рефракції променів на різко від'ємну. Наслідком цієї зміни є зменшення рівня інформаційного гідроакустичного сигналу на 20–30 дБ при переході через горизонтальний шар стрибка. Наявність цього шару свідчить про те, що морське середовище та наявна в ньому гідроакустична інформація про стан підводної обстановки різко поділені на дві частини. Перша лежить між морською поверхнею та шаром стрибка, друга – між шаром стрибка та морським дном. Для отримання повного об'єму гідроакустичної інформації потрібно мати у складі систем «НК-ГАС» ГАС з антенами, що можуть бути розміщені на морських горизонтах, які лежать нижче шару стрибка. Ця обставина суттєво змінює як схему побудови систем «НК-ГАС», так і тактику їх використання. Необхідно зазначити, що системи «НК-ГАС» з ГАС, гідроакустичні антени яких розміщені на корпусі корабля, суттєво обмежені в можливості отримання повного об'єму

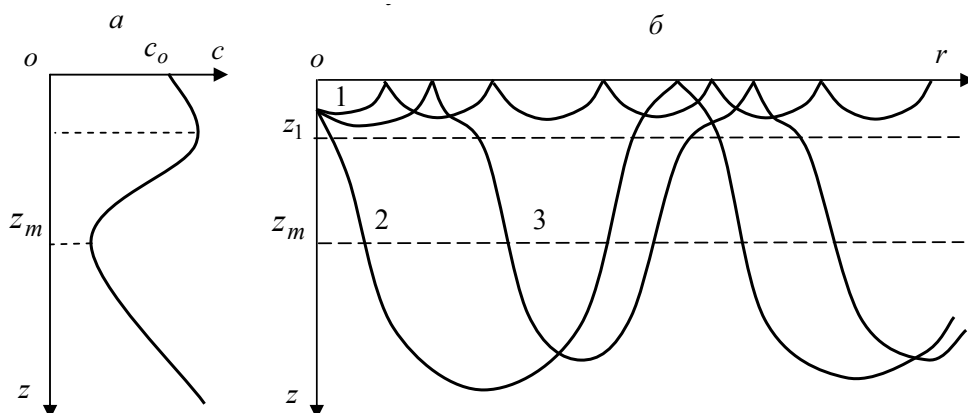


Рис. 6. Двохосьовий звуковий канал:
а – профіль $c(z)$; б – променева картина

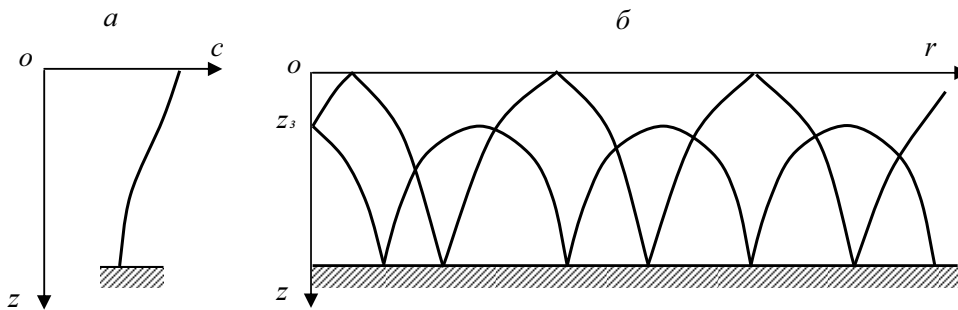


Рис. 7. Поширення звуку в мілкому морі:
а – профіль $c(z)$; б – променева картина

гідроакустичної інформації, оскільки можуть брати її лише з морського середовища між морською поверхнею та шаром стрибка.

1.4. Особливості розміщення гідроакустичної інформації при наявності донного підсвічування. Донне підсвічування виникає в умовах від'ємної та позитивної рефракції звукових променів з відбиттям їх від морського дна. Наслідком цієї акустичної особливості поширення гідроакустичної інформації є певне (до 5–8 дБ) збільшення гідроакустичного сигналу в зоні акустичної тіні. Практична реалізація цієї акустичної особливості існування гідроакустичної інформації в морському просторі пов'язана з певними вимогами до формування просторових характеристик ГАС систем «НК-ГАС» та структури побудови ГАС.

Таким чином, стратифікація морського середовища по глибині є суттєвим елементом, що визначає необхідність знаходження рівня розміщення горизонту морського середовища, на якому знаходиться повна гідроакустична інформація про підводному обстановку.

При реалізації технічних засобів відбирання гідроакустичної інформації з морського середовища велике значення має не тільки визначення горизонту її розміщення, але і рівень гідроакустичного сигналу, який несе цю інформацію. Цей рівень характеризується кількома акустичними особливостями. До них відносяться, по-перше, втрати, обумовлені поглинанням та розсіюванням гідроакустичних сигналів, і, по-друге, рівень власних акустичних завад у місцях розміщення гідроакустичних антен ГАС систем «НК-ГАС» на визначеному морському горизонті. Ці акустичні особливості поширюються на весь морський горизонт наявності гідроакустичної інформації.

Інтенсивність гідроакустичного сигналу, який несе на даному горизонті необхідну інформацію, спадає в процесі поширення хвиль за рахунок двох фізичних факторів: внаслідок розширення фронту хвилі та внаслідок різного роду втрат, що обумовлюють просторове згасання. Втрати на розширення фронту хвилі безпосередньо пов'язані із збільшенням поверхні, по якій розподіляється енергія гідроакустичного сигналу.

Втрати на згасання складаються з комбінації дії поглинання та розсіювання звукових хвиль сигналу. Існує кілька причин згасання звуку в морському середовищі. Основними з них є в'язкість морського середовища,

теплопровідність та молекулярна релаксація. Внаслідок в'язкості в морському середовищі має місце поглинання енергії, пропорційне квадрату частоти та коефіцієнту в'язкості в першому степені. Теплопровідність морського середовища обумовлена тим, що процес поширення звукових хвиль в ньому не є строго адіабатичним. У гідроакустичній хвилі здійснюється частково незворотне перенесення тепла від місць з більш високою температурою (область стиснення) до місць з більш низькою температурою (область розрідження). Результатом є незворотні втрати енергії хвиль. Поглинання хвиль обумовлено ще й процесами, пов'язаними з об'ємними деформаціями, результатом яких є запуск релаксаційних процесів.

До фізичних процесів, які викликають іноді значне згасання енергії гідроакустичних сигналів, відносяться також неоднорідності, що містяться в морському середовищі в зваженому стані. До них відносяться газові пухирці, біологічні об'єкти, термічні неоднорідності тощо. При цьому має місце поглинання та розсіювання звукової енергії. Особливо значним поглинанням відзначаються пухирці, власна резонансна частота радіальних коливань яких співпадає з частотою гідроакустичних сигналів, що поширюються в морському середовищі.

Рівень власних акустичних завад в місцях розміщення гідроакустичних антен ГАС систем «НК-ГАС» має три складові: шуми морського середовища; завади, створювані кораблем-носієм; власні завади, створювані ГАС.

Розглянемо першу складову. Джерела морського шуму поділяють на природні та штучні, причому різні джерела мають різні спектральні та направлені властивості. Природні шуми утворюються та визначаються станом морської поверхні та атмосфери над нею, тектонічними процесами в земній корі під морем та поведінкою морських біологічних істот. Штучні шуми утворюються рухом суден і визначаються інтенсивністю судноплавства в даному морському районі.

2. Акустичні особливості надводного корабля як носія засобів одержання гідроакустичної інформації про підводну обстановку

Однією із складових частин інформаційної гідроакустичної системи «морське середовище – надводний

корабель – гідроакустичне озброєння» є НК. НК також має власні акустичні особливості, що суттєвим чином впливають на можливості відбору гідроакустичної інформації про підводну обстановку з навколишнього морського середовища. Ці особливості пов'язані з умовами функціонування НК як носія ГО. До них відносяться:

складність умов прийому та випромінювання гідроакустичного сигналу в зв'язку з розміщенням НК – носія ГО на морській поверхні;

складність відбиваючої звук поверхні НК як тіла із складними геометрією та фізико-механічними характеристиками різних її частин;

складність НК – носія ГО як активного джерела власних акустичних завад роботі ГО.

Розміщення НК на морській поверхні обумовлює суттєві акустичні особливості поширення гідроакустичного сигналу при його прийомі або випромінюванні ГО, розміщеному на такому носії. Це обумовлено тим, що, по-перше, морська поверхня в акустичному відношенні є поверхнею розділу середовищ «вода – повітря» і характеризується як акустично м'яка для гідроакустичного сигналу. Наслідками цієї особливості є:

обнуління гідроакустичного сигналу на морській поверхні;

перетворення гідроакустичної антени ГО в систему з двох дзеркально розміщених відносно морської поверхні антен з протилежними за фазою значеннями сигналів.

По-друге, в більшості випадків морська поверхня є схвильованою (шорсткою). Наслідком цього стає різне відбиття поверхнею гідроакустичних сигналів в залежності від їх робочих частот. При низьких частотах гідроакустичний сигнал не бачить цієї шорсткості, а на середніх частотах вплив шорсткості суттєво зростає і змінює статистичні характеристики гідроакустичних сигналів.

Важливу роль у випромінюванні та прийомі гідроакустичних сигналів ГО НК відіграють акустичні особливості НК, пов'язані з його складною геометричною формою поверхні та складними фізико-механічними характеристиками різних частин цієї поверхні під водою. Вплив складності геометричної форми та фізико-механічних характеристик матеріалів підводної частини НК на гідроакустичний сигнали інформаційної системи залежить від місця розташування гідроакустичної антени ГО і визначається формами поверхонь, поблизу яких розміщуються гідроакустичні антени, оскільки амплітуди та фази відбитих хвиль гідроакустичних сигналів залежать від них.

Для бортових конформних гідроакустичних антен на корпусі НК створюються спеціальні ніші, поверхні яких покривають спеціальними поглинаючими звук гідроакустичними екранами. Така конструкція ніш виключає можливість відбиття гідроакустичних сигналів, що випромінюються або приймаються гідроакустичними антенами, поверхнями ніш і забезпечує комфортні акустичні умови їх роботи. При підкільному розміщенні гідроакустичних антен звукові хвилі, що несуть

гідроакустичні сигнали, відбиваються від поверхонь його корпусу та поверхонь обтічника, в якому розміщуються гідроакустичні антени, а їх амплітуди та фази залежать як від геометричної форми підводної частини корпусу НК, так і характеристик матеріалів, з яких вона виготовлена. При такому розміщенні гідроакустичних антен ГО для створення акустичного комфорту їх роботі також може бути застосований метод покриття прилеглих до антен поверхонь підводної частини корпусу НК шарами звукопоглинаючих матеріалів. У технічному відношенні такий підхід виглядає не дуже простим, але інших підходів на сьогодні немає.

При розміщенні гідроакустичної антени ГО в обтічниках у носовій частині корпусу НК або в бульбових утвореннях у цій же частині корпусу мають місце відбиття звукових хвиль гідроакустичних сигналів від підводних поверхонь корпусу, від стінок кофердама для носового розміщення гідроакустичних антен та від поверхонь обтічників. Зменшення рівня від'ємного впливу відбитих корпусом НК та стінками обтічників звукових хвиль на інформаційний гідроакустичний сигнал здійснюється такими ж технічними прийомами, як і в наведених вище випадках.

Таким чином, акустичні особливості НК як носія ГО обумовлені тим, що його наявність поблизу гідроакустичних антен цього озброєння є причиною появи звукових хвиль, відбитих підводною частиною НК з її складними геометричною формою та фізико-механічними характеристиками матеріалів, використаних при її побудові. Ці відбиті хвилі можуть суттєво спотворювати інформаційний гідроакустичний сигнал як при його випромінюванні, так і при його прийомі.

НК як носій ГО в акустичному плані відзначається ще й тим, що є активним джерелом власних акустичних завад роботі ГО. Природно, що ці завади можуть спотворювати інформацію про стан підводної обстановки, яку несуть гідроакустичні сигнали. Джерелами виникнення цих завад є вібрації корпусних конструкцій, що обумовлюють появу підводного шуму. Види коливань, які виникають при роботі механізмів і систем корабля, та шляхи їх передачі (рис. 8) включають:

вібрації звукового та інфразвукового діапазонів частот – по корпусах самих механізмів та систем, їх опорних конструкціях;

вібрації через фундаментні та корпусні конструкції корабля;

повітряний шум, який випромінюється механізмами та системами корабля, – через корабельні огороження (стінки, підволоки, переборки, палуби).

Не дивлячись на різницю в призначенні, розмірах, виду споживаної або виробленої енергії, робота корабельних машин, механізмів та систем супроводжується протіканням в них однакових фізичних процесів, що викликають вібрації та шуми.

За фізичними причинами виникнення джерела коливань поділяють на механічні, аерогідродинамічні та електромагнітні.

До основних механічних джерел коливань відносять:

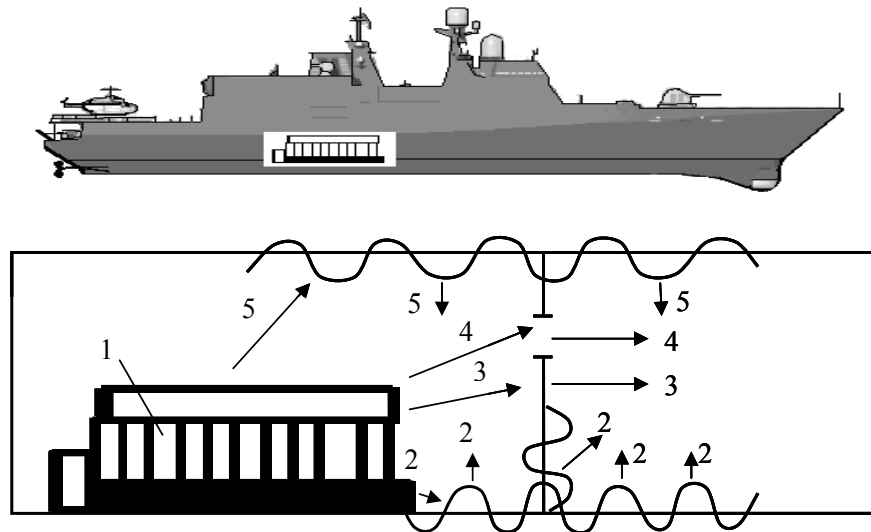


Рис. 8. Шляхи передачі повітряного та структурного звуку від шумового та віброактивного джерела в сусідні приміщення:

- 1 – вібрація звукового та інфразвукового діапазонів частот – по корпусу самого механізму, його опорних конструкціях; 2 – вібрація (структурний звук) – через фундаментні та корпусні конструкції корабля; 3 – повітряний звук, випромінюваний механізмом через корабельні огороження (переборки, підволоки, палуби); 4 – повітряний звук – через отвори, проїми, люки, вентиляційні канали; 5 – повітряний звук, який викликаний звуковою вібрацією огорожень від потужного шуму механізмів

неврівноваженість мас, що обертаються;
 неспіввісність деталей, що обертаються;
 двояка жорсткість роторів;
 удари тіл в кінематичних парах;
 тертя-ковзання;
 тертя-коливання.

До аерогідродинамічних джерел коливань відносять:

- пульсації турбулентного потоку;
- пульсації тиску турбулентного граничного шару на обтічних поверхнях;
- пульсації тиску на лопатях гвинтів через нерівномірності потоку;
- пульсації тиску, викликані взаємодією неоднорідного потоку з обтічними тілами;
- обертання твердих тіл у середовищі;
- кавітаційні процеси в проточних частинах машин і систем;
- термічні процеси.

До електромагнітних джерел коливань слід віднести знакомі сили, що виникають у повітряному зазорі між ротором і статором.

Таким чином, наведений побіжний аналіз джерел акустичних завад НК – носія ГО, в умовах яких працюють гідроакустичні антени цього ГО, свідчить про необхідність пошуку як системних підходів, так і технічних шляхів та засобів зменшення їх впливу на гідроакустичні інформаційні сигнали.

Наведений аналіз акустичних особливостей НК як однієї із складових інформаційної гідроакустичної системи «морське середовище – надводний корабель – гідроакустичне озброєння» дозволяє зробити такі висновки.

По-перше, НК як носія ГО властиві значні акустичні особливості, суттєвий вплив яких на інформаційні

гідроакустичні сигнали необхідно враховувати при експлуатації інформаційної гідроакустичної системи «НК-ГО».

По-друге, ці акустичні особливості мають у своїй основі різну фізичну природу. Тому для зменшення їх впливу на систему «НК-ГО» необхідно:

- розробити методи оцінки та на їх основі одержати кількісні оцінки цього впливу;
- знайти технічні рішення з практичної реалізації зменшення їхнього впливу на інформаційні гідроакустичні сигнали на основі одержаних оцінок.

3. Акустичні особливості гідроакустичного озброєння як первинного джерела одержання гідроакустичної інформації в системі висвітлення підводної обстановки

Первинним джерелом одержання гідроакустичної інформації в системі висвітлення підводної обстановки, що включає морське середовище, надводний корабель і гідроакустичне озброєння, є гідроакустичне озброєння. Для того щоб ця інформація була виявлена в повному обсязі та без спотворень для роботи гідроакустичної антени, яка входить до складу ГО, повинні бути створені умови акустичного комфорту. На сьогоднішній день цими умовами є умови роботи гідроакустичної антени в безмежному однорідному середовищі при відсутності в ньому будь-яких джерел акустичних завад.

Наведені вище результати досліджень акустичних особливостей морського середовища та надводного корабля-носія ГО як двох складових інформаційної гідроакустичної системи свідчать про відсутність у реальній ситуації умов акустичного комфорту для роботи третьої складової цієї інформаційної системи. Більше того, не

всі складові цієї системи мають можливості введення до них змін, що могли б у подальшому якоюсь мірою створювати передумови появи акустичного комфорту роботи ГО. Дійсно, морське середовище, яке входить до складу інформаційної гідроакустичної системи, є «власником» інформації про стан підводної обстановки в будь-якому районі морської акваторії. Цю інформацію можливо знайти в ньому за допомогою ГО, використовуючи встановлені вище акустичні особливості його розміщення в морському середовищі, але вплинути якимось чином на цю складову інформаційної гідроакустичної системи неможливо.

У той же час, виходячи з наведених вище особливостей НК як другої складової інформаційної гідроакустичної системи, з погляду створення акустичного комфорту роботі ГО НК має певні можливості зменшення негативного впливу на умови роботи гідроакустичних антен. Ці можливості пов'язані як із створенням та використанням нових підходів до акустичного вдосконалення власне самого НК в частині його архітектури, застосування механізмів та систем і шляхів зменшення їх впливу як джерел власних структурних завад, так і з використанням можливостей розміщення гідроакустичних антен ГО відносно корпусу НК.

Наведений аналіз можливостей, що мають перші дві складові інформаційної гідроакустичної системи в плані створення акустичного комфорту роботі гідроакустичних антен ГО, дозволяє зробити висновок про те, що вони є важливими, але не визначальними. Визначальними в цьому плані залишаються лише ті можливості, що безпосередньо пов'язані з ГО системи «НК-ГО». Основою їх появи та реалізації є врахування впливу акустичних особливостей умов функціонування гідроакустичних антен в інформаційних гідроакустичних системах «морське середовище – надводний корабель – гідроакустичне озброєння» на їх ефективність. При цьому ефективність систем «НК-ГО» визначається [2, 3] як ступінь технічного пристосування даної системи до виконання поставленої задачі.

Дійсно, саме ГО та особливості його акустичних характеристик дозволяють адаптувати ГО до акустичних особливостей і морського середовища, і надводного корабля-носія ГО. Для цього ГО має значний арсенал технічних характеристик. З погляду адаптації ГО до акустичних особливостей умов розміщення гідроакустичної інформації в морському середовищі слід віднести таке.

По-перше, гідроакустичні антени, що входять до складу ГО, повинні мати можливість бути розміщеними на тому морському горизонті, на якому знаходиться інформація. Для забезпечення цієї можливості необхідно мати в складі ГО два типи гідроакустичних антен: стаціонарно розміщені на корпусі НК і такі, що можуть бути розміщеними на будь-якому морському горизонті, так звані антени змінної глибини (АЗГ). Особливістю АЗГ є необхідність витримувати значний гідростатичний тиск, у зв'язку з чим формування необхідних акустичних характеристик ГО з такими гідроакустичними антенами суттєво ускладнюється.

По-друге, направлені властивості ГО повинні бути узгоджені з акустичними особливостями морського середовища. Зокрема, характеристики направленості ГО з гідроакустичними антенами, розміщеними на корпусі НК, у вертикальній площині повинні бути відхилені вниз від морської поверхні, щоб зменшити її вплив на них. При прийомі ГО з гідроакустичними антенами змінної глибини багатопробеневого інформаційного гідроакустичного сигналу їх антени у вертикальній площині повинні мати віяло характеристик направленості, кожна з яких повинна бути узгоджена за параметрами з відповідними променями.

При роботі гідроакустичних антен ГО поблизу морської поверхні або морського дна пристосованість системи «НК-ГО» до цих акустичних особливостей морського середовища може бути реалізована шляхом, в якому першим підходом є визначення впливу вказаних границь морського середовища на направлені акустичні властивості ГО, а другим – врахування їх таким чином, щоб ці направлені властивості ГО в присутності названих морських границь були такими ж, як і при роботі ГО в умовах безмежного середовища. Такі акустичні особливості ГО технічно можуть бути реалізовані шляхом синтезу характеристик гідроакустичних антен відповідно до названих умов їх експлуатації.

Таким чином, врахування акустичних особливостей умов розміщення гідроакустичної інформації, по-перше, технічно можливе лише в третій складовій інформаційної гідроакустичної системи «морське середовище – надводний корабель – гідроакустичне озброєння», і, по-друге, полягає в створенні в цій складовій таких акустичних особливостей, які б відповідали умовам акустичного комфорту роботи гідроакустичних антен ГО. Врахування акустичних особливостей другої ланки названої інформаційної гідроакустичної системи при виявленні гідроакустичної інформації можливо реалізувати двома технічними напрямками. Перший з них, пов'язаний власне з самим НК – носієм ГО, був розглянутий вище. Другий напрям пов'язаний з ГО і полягає в створенні таких акустичних особливостей ГО, які б, як і у випадку морського середовища, забезпечували умови акустичного комфорту роботі гідроакустичних антен ГО.

Зокрема, в гідроакустичних антенах ГО, що розміщуються в носовій частині корпусу НК у секторі кутів у напрямі розміщення гвинтів НК, формування характеристик направленості недоцільне. Характеристики направленості гідроакустичних антен в інших напрямках повинні мати малі рівні бокових пелюсток. Направлені властивості АЗГ ГО повинні мати малий рівень бокових пелюсток характеристик направленості в секторах кутів у напрямі розміщення гвинтів корабля-носія ГО. Всі ці вимоги пов'язані з формуванням у ГО характеристик направленості спеціальної форми та відображають акустичні особливості ГО.

Таким чином, збільшення ефективності системи «НК-ГО» шляхом врахування акустичних особливостей другої складової інформаційної гідроакустичної системи може бути досягнуто не тільки завдяки змінам в

архітектурі НК і його характеристиках як носія ГО, а й за допомогою створення певних акустичних особливостей при технічних реалізаціях самого ГО.

Висновки. На сучасному етапі розвитку ГО НК інформаційна гідроакустична система, яка включає до себе три незалежні компоненти у вигляді морського середовища, НК та ГО, повинна розглядатись як єдина система, всі складові якої пов'язані між собою у функціональному відношенні при вирішенні поставленої бойової задачі. Кожна із складових цієї інформаційної гідроакустичної системи має свій набір акустичних особливостей, що вирішальним чином впливають на пошук та відбір гідроакустичної інформації, необхідної для вирішення поставленої задачі. Саме спільний розгляд з єдиних методологічних позицій цих акустичних особливостей кожної із складових частин інформаційної гідроакустичної системи дозволяє встановити їхній вплив на характеристики системи «НК-ГО» і врахувати його з метою збільшення ефективності цієї системи.

Встановлені та проаналізовані акустичні особливості умов функціонування системи «НК-ГО» відносно кожної із складових інформаційної гідроакустичної системи: морського середовища, НК і ГО – та їхній вплив на побудову і характеристики системи «НК-ГО».

Показано, що підвищення ефективності системи «НК-ГО» може бути реалізовано значною мірою шляхом адаптації акустичних особливостей ГО до акустичних особливостей морського середовища та надводного корабля-носія ГО та певною мірою – за рахунок зміни акустичних особливостей НК та їхнього впливу на ГО.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ветер и волны в океанах и морях : справоч. данные / под. ред. И. Н. Давидана, Л. И. Лопотухина. Л. : Транспорт, 1974. 264 с.
2. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника : состояние и актуальные проблемы. Спб. : Наука, 2004. 410 с.
3. Терминологический словарь-справочник по гидроакустике / Р. Х. Бальян, Э. В. Батаногов, А. В. Богородский [и др.]. Л. : Судостроение, 1989. 368 с.

Рецензент О. В. Коржик, д-р техн. наук, проф.
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)