

О.В. Кобзар

С.В. Мазовська, к.вет.н.

Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ ПИТАНЬ ВИСВІТЛЕННЯ НАДВОДНИХ ТА ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДЕМАСКУЮЧИМИ ОЗНАКАМИ ЦИХ ОБ'ЄКТІВ

*В цій роботі автори розглянули здатність окремого виду морських ссавців, зокрема чорноморських дельфінів (*Tursiops truncatus ponticus*), здійснювати передачу інформації акустичним методом та можливість її корекції з метою зменшення демаскуючих ознак як самих морських біологічних об'єктів, так і створених на їхній основі біосистем та, відповідно, відпрацювання нових форм і методів їх прихованого застосування при виконанні складних завдань.*

В основу дослідження покладено можливість тимчасового повного блокування або кардинального зменшення дальності дії передачі акустичних сигналів дельфінами за допомогою свистових ультразвукових тонів у відповідному частотному діапазоні.

Ключові слова: акустика, гідроакустика, гідролокація, дельфіни, демаскуючі ознаки, звук, звукові хвилі, морські ссавці, ВМС ЗС України, обертон, сонограма, ультракороткі імпульси.

Постановка проблеми

Підготовку Військово-Морських Сил Збройних Сил України (далі – ВМС ЗС України), як і врешті-решт усіх інших військових морських флотів (сил) світу до бойового застосування, супроводжують різноманітні демаскуючі ознаки, тобто такі характерні риси діяльності органів управління, сил (військ), фізичні властивості бойової техніки та об'єктів, які дозволяють розвідці противника шляхом їх аналізу та ідентифікації розкривати розташування об'єднань і з'єднань, їх склад, рівень боєздатності та спрямованість підготовки до операції (бойових дій).

Ці ознаки можна класифікувати: за масштабом значущості у збройній боротьбі – на стратегічні, оперативні та тактичні; за тривалістю збереження – на постійні та періодичні; за ступенем динамізму їх проявів – на активні та пасивні; за джерелом виникнення вони бувають штучні та природні.

Велике число демаскуючих ознак створює, природно, сприятливі умови для отримання достовірних даних про справжні мотиви дій і наміри протиборчої сторони. До того ж, зараз можливості розвідки значно розширилися. Провідні морські держави володіють різноманітними розвідувальними системами (космічними, авіаційними, корабельними, стаціонарними береговими і підводними), оснащеними радіотехнічними, гідроакустичними, фотографічними, магнітометричними та іншими засобами в їх різному поєднанні. Вони дозволяють вирішувати завдання розвідки безперервно, в будь-який час доби і незалежно від стану погоди [1].

В свою чергу, відповідно, наявність різноманітних демаскуючих ознак як у морських біологічних об'єктів, так і у створених на їх основі бойових біосистем, які застосовуються у ВМС ЗС України, змушує знаходити нові форми та методи щодо повного тимчасового блокування або мінімізації подібних проявів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Зважаючи на те, що відомі демаскуючі ознаки надводних і підводних об'єктів вже досить поглиблено досліджені та вивчені, відповідно створені методики їх зменшення та нівелювання, в цій статті автори взяли на себе відповідальність зупинитися на окремих демаскуючих фізичних ознаках морських тварин, які становлять певний інтерес та використовуються для здійснення завдань, що виконують ВМС ЗС України.

Особливості ультразвукових сигналів, які відтворюють та застосовують морські ссавці, а саме дельфіни, їх здатність здійснювати комунікацію на порівняно великі відстані (до 5–10 км) з досить високою швидкістю передачі даних (100...200 бод) досить детально вивчені закордонними та вітчизняними науковцями. Подібні дослідження проводились в SPAWAR Systems Center Pacific (Сан-Дієго, США) в рамках виконання морської біологічної програми ВМС США та програми з використання морських ссавців (англ. – *U.S. Navy Marine Mammal Program, NMMP*) та Науково-дослідному центрі Збройних Сил України «Державний океанаріум», особливо в період за місцем його попередньої дислокації в м. Севастополі (АР Крим, Україна) [2, 3].

Постановка задачі та її розв'язання

Проводячи аналіз проблем фізичного і технічного характеру, виникає питання щодо можливості тимчасового обмеження або зменшення ультразвукових сигналів, які генерують дельфіни. У цьому контексті завдання нашого дослідження полягало в аналізі будови гідролокаційного механізму дельфіна і, на цій основі, у розробці технічного підходу до майбутнього пристрою, який буде здатний у взаємодії з іншими формами та методами знизити загальний рівень демаскуючих ознак дельфіна та біосистеми в цілому.

Виокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття

Якщо аналіз будови гідролокаційного механізму дельфіна та особливості ультразвукових сигналів, які відтворюють тварини, активно вивчалися та аналізувалися, то питання щодо створення спеціального пристрою з метою зниження рівня цих демаскуючих ознак не розглядалися з причини відсутності такої потреби. В період здійснення агресії проти нашої країни потреба в нестандартних підходах до вирішення тих чи інших завдань, які постали перед ВМС ЗС України, стала як ніколи актуальною.

Виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Природний гідролокаційний механізм дельфінів, як і всіх китоподібних, є унікальним і надзвичайно чутливим. Дельфін володіє недосяжною для створених людиною приладів ефективністю гідроакустичної локації. За характером відбитого звуку ці тварини здатні розпізнавати не тільки відстань до об'єкта, який досліджується, але й його розмір, форму і навіть внутрішню структуру.

Наприклад, дельфін здатний проводити гідролокацію тіла, розміром з дробину, яка впала у воду на відстані 15 метрів від нього, розрізняти розміри предметів однакової форми, що відрізняються на одиниці відсотків, їх матеріал, розрізняти, подібно до можливостей томографу, деталі внутрішньої будови об'єктів, що знаходяться у воді або в шарі мулу, їх форму й інші параметри, виявляти істівну рибу на відстані більше трьох кілометрів і відрізняти від тієї, яка не може бути використана в якості їжі. Це досягається досконалістю його природної системи: гідролокатор – мозок.

Будова гідролокатора дельфіна досить складна. Всі китоподібні, в тому числі і дельфіни, вміють не тільки добре прослуховувати відбиті від предметів звуки, вони також можуть керувати звуками, які видає гідролокатор, збільшуючи або зменшуючи їх потужність та спрямовуючи їх у чітко визначеному напрямку, у вигляді вузького, компактного, чітко спрямованого променя. В природі для того, щоб отримати такий фокусований промінь, потрібно мати увігнуте дзеркало-рефлектор або лінзу. Дельфіни застосовують обидва ці предмети, дзеркалом слугують увігнуті лобні кістки черепа тварини (повітряні мішки, де утворюється звук, розташовані якраз перед цими кістками). Ці кістки відбивають звук, спрямовуючи його вперед.

На шляху звукових хвиль розміщена акустична лінза – особлива, характерна тільки для китоподібних частина тіла, так звана «лобна подушка». Це – округле утворення, яке складається з жироподібної тканини і розташоване над верхньою щелепою дельфіна. Завдяки своїй випуклій

округлій формі лобна подушка збирає і фокусує звук, створений повітряними мішками і відбитий вперед лобними кістками (подібно до того, як скляна лінза фокусує світлові хвилі) [4, 5].

Для того, щоб видавати всю гаму звуків (від комунікаційних до локаційних), дельфіни використовують звуковідтворюючий орган, який представляє собою замкнуту систему, управління якою здійснюється за допомогою відповідних м'язових скорочень так, що повітря під тиском переміщується по дихальному тракту до звукоутворювальних повітряних мішків та повз канали, з'єднуючи ці мішки з дихальною трубкою. На рис. 1 наведено більш детальну схематичну структуру гідролокатора дельфіна.

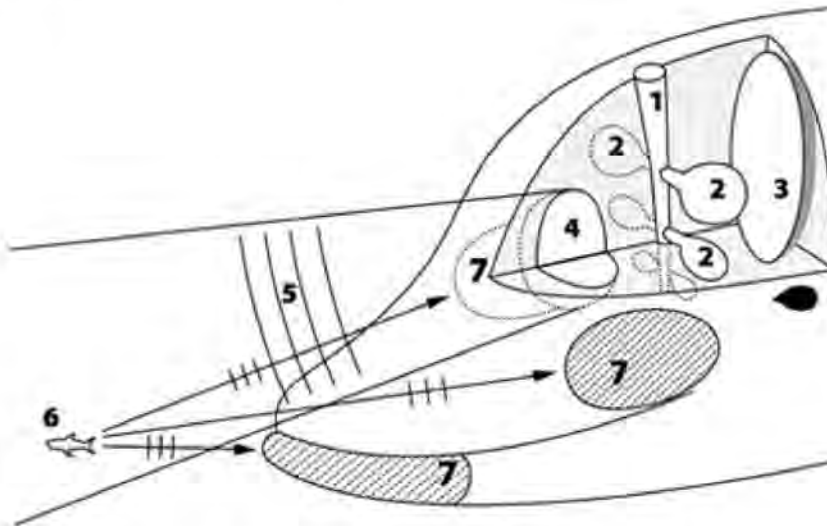


Рис. 1 – Схематична структура гідролокатора дельфіна

Гідролокатор дельфіна працює таким чином:

носовий канал (1), який йде від дихала до легень, з'єднує три пари повітряних мішків (2), що представляють собою порожнини, оточені системою радіальних м'язів, які розташовані у верхніх дихальних шляхах в ділянці голови та складають біосонар дельфіна;

мембрани, які розташовуються в місці з'єднання мішків з носовим каналом, при продуванні повітря з лівого мішка в правий або навпаки, генерують ультразвукові коливання, які фокусуються за допомогою рефлектора (3), що представляє собою параболічне поглиблення в передній частині черепа і акустичної лінзи (4), що представляє собою жирове утворення (лобна подушка), яке оточене системою м'язів, що змінюють при необхідності його форму і, відповідно, фокусну відстань. В результаті утворюється ультразвуковий промінь (5), частота і діаграма спрямованості якого можуть змінюватися.

об'єкт, який гідролокується (6), розсіює випромінювання, що падає на нього і сприймається антенною системою у вигляді трьох областей (7), розташованих на шкірі рострума і нижньої щелепи дельфіна. Ці області утворюються акустичними рецепторами шкіри зі щільністю розподілу близько 600 одиниць на 1 cm^2 і представляють собою, по суті, просторову голографічну приймальну систему.

Таким чином, дельфіни здатні видавати як поодинокі короткі звуки, так і черги, які, зливаючись, утворюють характерний свист з вкрапленнями тріску або скрипу.

Свист дельфіна являє собою синхронно модульований за частотою ряд гармонік з, можливо, накладеними на нього перешкодами у вигляді послідовності поодиноких ультракоротких імпульсів (УКІ). Основна енергія сигналу зосереджена в порівняно вузьких регулярних частотно-часових смугах, що перетинають смуги перешкоди під кутами, близькими до прямих [6].

Свого часу Д. Дреер та І. Єванс на підставі своїх спостережень, проведених ще у 1969 році, прийшли до висновку, що дельфіни можуть передавати великі обсяги інформації акустичним шляхом і передача інформації здійснюється свистовими звуковими та ультразвуковими тонами в частотному діапазоні від 4 до 100 кГц [7].

За іншими результатами досліджень, дельфін може видавати в навколишнє середовище всі типи звуків в діапазоні 10 Гц – 196 кГц (~ до 200 кГц).

Свистові сигнали, насичені змінами складних комбінацій частот рееструються не часто, але надають право стверджувати, що обертони (гармонійні компоненти) генеруються різними, асинхронно функціонуючими, джерелами звуку. При цьому як мінімум одне джерело повинно працювати на частоті основного тону, при якому можуть збуджуватися непарні гармоніки. Друге джерело повинно тоді працювати на частоті першого обертона, при якому будуть збуджуватися гармонійні компоненти сигналу. Таким чином, гармонійні частоти компоненти утворюються під час генерації основного тону не автоматично (пасивно), а навпаки, свідомо, за допомогою активного «ввімкнення/вимикання» різних частот сигналу, що може цілком використовуватися для здійснення інформаційної модуляції сигналу, тобто з метою певного кодування переданого повідомлення.

Цікавим спостереженням стало те, що фаза другої гармонійної компоненти найчастіше випробовує повільні зсуви у відношенні фази основного тону сигналу. На рис. 2 представлений відрізок однієї зі свистових реалізацій дельфіна, на якому у продовження тридцяти періодів основного тону (3,4 мс) фаза першого обертона поступово змінює своє значення у відношенні до фази основного тону, і до кінця сектора вже відстає приблизно на 90° .

$$f_{\text{Основн}} = 8700 \text{ Hz}, \quad f_{\text{Обертон-1}} = 17400 \text{ Hz}, \quad f_{\text{Обертон-2}} = 17318 \text{ Hz}$$

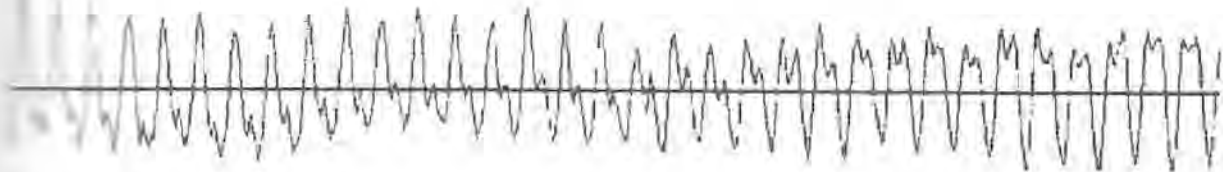


Рис. 2 – Приклад безупинного зсуву фази обертона відносно фази основного тону

Подібний зсув не може пояснюватися, наприклад, перекручуванням при поширенні сигналу в середовищі, тому що цей сигнал, як і багато інших, був записаний у безпосередній близькості до випромінюючого дельфіна (близько 1 метра), тобто в умовах, коли для утворення фазових перешкод просто не існувало ні достатнього часу, ні досить довгої ділянки передаючого середовища. Цей приклад говорить про те, що дельфіни, крім простих амплітудних модуляцій типу «ввімкнення/вимикання» частотних компонент, здатні гнучко керувати також і іншими параметрами сигналу. Водночас необхідно зазначити, що таке активне керування фазою (фазовими зрушеннями) може досягатися тільки тоді, коли в складі сонару працюють паралельно як мінімум два автономних джерела звукових коливань, чії частотні установки керуються окремо.

Також може бути поставлене питання, чи не можуть дельфіни зв'язуватися поміж собою за допомогою передачі сигналів, що мають визначені дискретні стани, наприклад, «бітові шаблони», тобто цифровим шляхом. Така несподівана паралель відкриває новий підхід до розуміння біокомунікації дельфінів. Якщо така думка правильна, то тривалість частотної моди чи такту, тобто тривалість обертона від моменту його виникнення до моменту зникнення, дала б міру для оцінки швидкості передачі інформації сигналами дельфінів.

На рис. 3 показаний фрагмент одного з сигналів, записаних на відстані трьох метрів від дельфіна, у якому обертон існує всього 0,7 мс. Однак це найкоротший такт, який знайдений при виконанні поточної роботи. Зазвичай, такт має тривалість декілька мілісекунд і більше. У цьому контексті було б цікавим досліджувати в деталях різні бітові шаблони і їхнє значення в комунікації, семантичне та інші. Однак це вимагатиме тривалої підготовки проведення спеціальних комбінованих біоакустичних

і поведінкових експериментів. З огляду на подібні особливості, викладені вище наукові експериментальні дані мають вагу і прикладну цінність для подальших розробок [7].

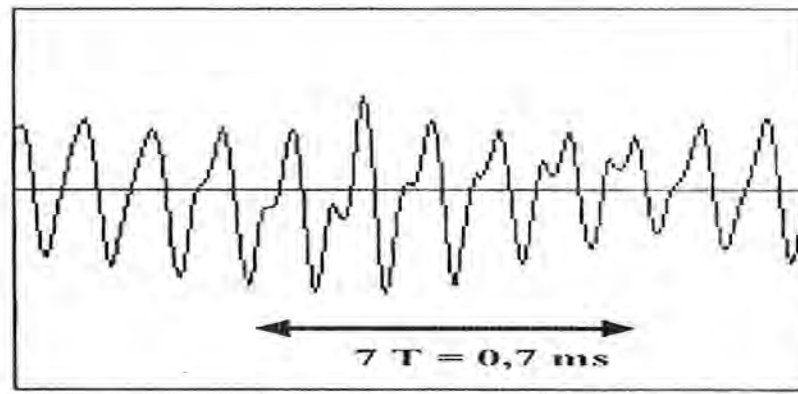


Рис. 3 – Приклад коротких тактів модуляції згенерованого дельфіном сигналу

На основі вищезазначеного, загальна схема гідроакустичної системи дельфіна складається з декількох підсистем: перша підсистема – звичайний слух, що доповнюється прийомним пристроєм – нижньою щелепою. Вона забезпечує, здебільшого, прийом комунікаційних сигналів, а також забезпечує частину функцій висвітлення підводної обстановки. Друга підсистема (кругова) – здійснює реєстрацію та аналіз усіх типів звуків.

Третя підсистема – це система гідролокації, яка працює у фронтальній зоні попереду дельфіна та використовує найбільш високочастотні сигнали. Ті ж гідроакустичні рецептори, що з великою щільністю розподілені на голові дельфіна, з меншою щільністю розташовані по поверхні всього тіла дельфіна, утворюють багатоелементну широкосмугову гідроакустичну приймальну антену з круговою діаграмою спрямованості. Ця підсистема голографічного прийому забезпечує висвітлення підводної обстановки, працюючи як в активному, так і в пасивному режимах, а також доповнює роботу першої підсистеми.

Автори цієї роботи в основу свого дослідження поклали саме особливості третьої підсистеми гідроакустичної системи дельфіна та запропонували тимчасово обмежити або зменшити рівень ультразвукових сигналів, які вони генерують з метою зниження загального рівня їх демаскуючих ознак та біосистеми в цілому. Виконання подібного завдання зменшить тільки гідроакустичну видимість дельфіна, не зашкодивши його життю та здоров'ю, які достатньо резервовані іншими підсистемами. Загальний вигляд екрануючого пристрою на дельфіні показаний на рис. 4.

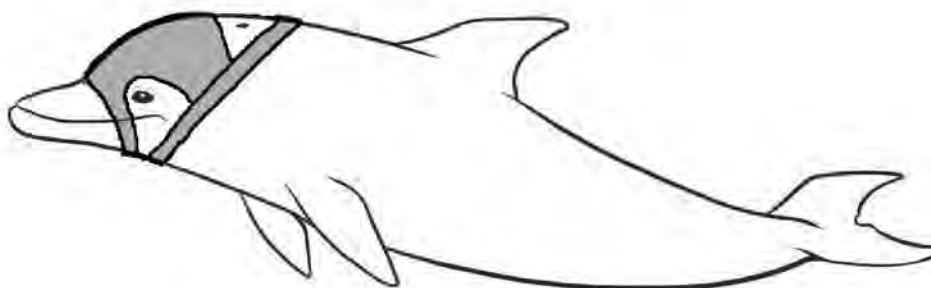


Рис. 4 – Загальний вигляд екрануючого пристрою на дельфіні

Екрануючий пристрій виготовляється багатошаровим (прим. авторами запропоновано сім шарів), для основного середнього шару якого використовується рулонний полімерний матеріал – поліетилентерефталат (PET), який додатково з обох боків оброблено спеціальною протишумовою

мастикою. Зазначений матеріал – не розчинний у воді й органічних розчинниках, стійкий до впливу кислот, солей і розчинів слабких лугів та має хімічну формулу – $(C_{10}H_8O_4)_n$.

В якості спеціальної протишумової мастики може бути застосована поліуретанова спінена маса на основі поліестеру з сітчастою пінною структурою, що характеризується складною системою з тонкими мембранами, які своєю формою забезпечують високоефективне звукопоглинання. Звукопоглинаючою тканиною може бути запропоновано замшеву текстуровану тканину з вмістом поліестеру до 100%. Загальна товщина екрану складає 8–10 мм.

Зовнішні шари екрануючого пристрою, в свою чергу, виготовляються зі звукопоглинаючої тканини та гуми, при чому зовнішній шар виготовляється за схемою: гумове покриття – тканина – гумове покриття; внутрішній шар, який безпосередньо контактує зі шкірою дельфіна – за схемою: тканина – гума – тканина. Поперечний розріз екрануючого пристрою показано на рис. 5.

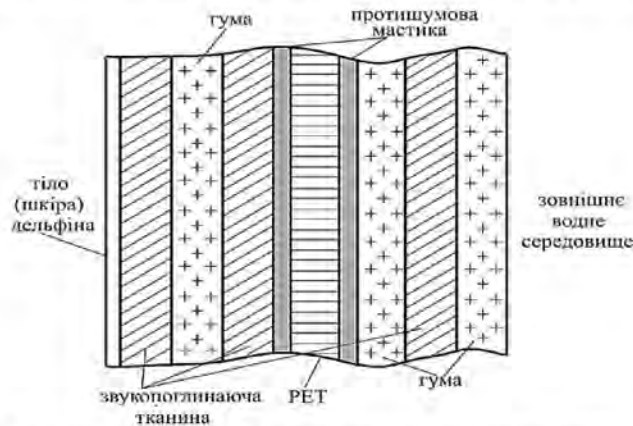


Рис. 5 – Поперечний розріз екрануючого пристрою

Додатковим напрямком досліджень щодо тимчасового обмеження або зменшення демаскуючих ознак дельфіна та біосистеми в цілому може стати зовнішнє дистанційне управління температурою поверхні їх шкіри за методикою авторів, яка викладена в науковій статті 2015 року [8].

За основу були взяті дослідження, які свого часу були проведені в Науково-дослідному центрі Збройних Сил України «Державний океанаріум» та які засвідчили, що температура зовнішніх покривів шкіри дельфіна відрізняється від температури зовнішнього середовища (води) на незначну величину, що є цілком прийнятним для вихідних даних нашого подальшого дослідження. Температурна карта поверхні тіла дельфіна показана на рис. 6.

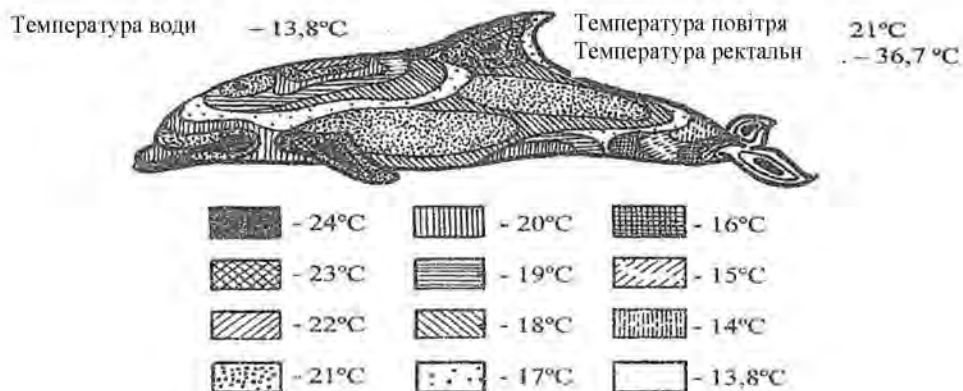


Рис. 6 – Температурна карта поверхні тіла дельфіна

Висновки

В цій статті автори зупинилися на аналізі та дослідженні окремих демаскуючих фізичних ознаках деяких об'єктів морської фауни, а саме дельфінів, які складають певний інтерес та використовуються для здійснення

завдань, що виконують ВМС ЗС України. В результаті автори прийшли до попереднього висновку, що ультразвукові сигнали, які генерують дельфіни, цілком можливо тимчасово обмежити або зменшити.

У цьому контексті основним завданням дослідження став аналіз будови гідролокаційного механізму дельфіна та розробка технічного підходу до екрануючого пристрою, який здатний у взаємодії з іншими формами, методами та технічними рішеннями знизити загальний рівень демаскуючих ознак дельфіна та біосистеми в цілому.

Практичним результатом наукової роботи стала розробка моделі екрануючого пристрою, за допомогою якого можливо тимчасово обмежити або зменшити рівень ультразвукових сигналів, які генерують дельфіни, без нанесення їм шкоди для здоров'я.

Перспективи подальших досліджень

Тимчасове примусове обмеження або зменшення сили ультразвукових сигналів, які генерують дельфіни, та зовнішнє дистанційне управління температурою поверхні їх шкіри, як додаткового методу, з метою максимального наближення її у відповідність до температури довколишньої водної поверхні в акваторії, яка визначена для виконання завдання, в поєднанні цілком можливо розглядати як окремий самостійний або додатковий напрямок досліджень [8].

При повному відпрацюванні усіх питань подібної методики, позитивних результатів апробації та впровадження обох методів, за допомогою технічних засобів запропонованої системи цілком можливо посилити власні маскувальні властивості дельфінів під час виконання ними завдань за призначенням та обмежити можливість гідроакустичних та тепловізорних охоронних систем або інших технічних засобів охорони щодо передчасного фіксування їх наближення до охоронюваних об'єктів.

Список використаних джерел

1. Аристов А.П. Демаскуючі ознаки, їх усунення і ослаблення в морських операціях. / А.П. Аристов – «Военная мысль» № 7. – 1986. – С. 22–30.
2. Морські біотехнічні системи. Збірник наукових статей. Випуск 2. – Севастополь: Міністерство оборони України, Національна академія наук України, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум». – 2002. – 313 с.
3. Кулагин В.В., Журид Б.А. Теория морских биотехнических систем / В.В. Кулагин, Б.А. Журид – Севастополь: – НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2010. – 330 с.
4. В центре внимания – дельфин. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
5. Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 9. – 63 с.
6. Об анализе частотно-модулированных сигналов, излучаемых дельфинами, методом нечетких траекторий / Горбачев Е.А., Докунин А.Е., Домнина Т.А., Матишева С.К., Степанова Л.В. – Севастополь: Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», 2002. – С. 81–86.
7. Кебкал К.Г. Звуконідводний зв'язок за методом комунікації дельфінів / К.Г. Кебкал, А.Г. Кебкал, А.Ж. Єрмоленко – Севастополь: Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», 2002. – С. 36–53.
8. Кобзар О.В. Окремі аспекти системи контролю та управління об'єктами морської фауни за допомогою електронно-обчислювальних та радіо (кодо-) прийомо-передавальних комплексів в інтересах завдань, які виконують ВМС Збройних Сил України / О.В. Кобзар, С.В. Мазовська. – Одеса: Військова академія, 2015. – С. 133–144.

Рецензент: Ю.О. Міхальов, д.б.н., проф., Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНЫХ И ПОДВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ ПО ДЕМАСКИРУЮЩИМ ПРИЗНАКАМИ ЭТИХ ОБЪЕКТОВ**

А.В. Кобзарь, С.В. Мазовская

*В данной работе авторы рассмотрели способность отдельного вида морских млекопитающих, в частности черноморских дельфинов (*Tursiops truncatus ponticus*), осуществлять передачу информации акустическим методом и возможность ее коррекции с целью уменьшения демаскирующих признаков, как самих морских биологических объектов, так и созданных на их основе, биосистем и соответственно, отработки новых форм и методов их скрытого применения при выполнении сложных задач.*

В основу исследования положена возможность временного полного блокирования или кардинального уменьшения дальности действия передачи акустических сигналов дельфинами с помощью свистов ультразвуковых тонов в соответствующем частотном диапазоне.

Ключевые слова: акустика, гидроакустика, гидролокация, дельфины, демаскирующие признаки, звук, звуковые волны, морские млекопитающие, ВМС ВС Украины, обертона, сонограмма, ультракороткие импульсы.

**RESEARCH OF QUESTIONS OF ILLUMINATION OF SURFACE AND SUBMARINE
OBJECTS ON UNMASKING THE SIGNS OF THESE OBJECTS**

A. Kobzar, S. Mazovskaya

*In this work authors considered ability of separate type of marine mammals, in particular, black sea dolphins (*Tursiops truncatus ponticus*), to carry out an information transfer an acoustic method. Possibility of its correction with the purpose of diminishing of observables, both marine biological objects and created on their basis, biosystems and workings off new forms and methods of their hidden application at implementation of intricate problems.*

In basis of research possibility of the complete temporal blocking or cardinal diminishing of distance of action of transmission of acoustic signals dolphins fixed by ultrasonic tones in an appropriate frequency range.

Keywords: acoustics, hydroacoustics, hydrolocation, dolphins, unmasking signs, sound, sound waves, marine mammals, the Ukrainian Navy, overtone, sonogram, ultra-short impulses.