

Акустические приборы и системы

УДК 539.1

В.С. Дідковський, д-р техн. наук, О.Г. Лейко, д-р техн. наук, В.І. Денисенко, канд. техн. наук,
І.В. Кандрачук, канд. техн. наук

Особливості конструювання електроакустичних антен для рідинних акустичних технологій

Выполнен анализ опыта конструирования электроакустических антен, предназначенных для работы в жидкости, накопленный за последние два десятилетия. В результате анализа установлен ряд наработанных базовых принципов конструирования, детальное рассмотрение результатов технической реализации которых позволяет определить перспективное направление конструирования таких приборов при применении их в будущих мультимедийных акустических технологиях. По каждому из приведенных базовых принципов конструирования представлены примеры его практической реализации в виде промышленных образцов конструкций антенн.

The analysis of experience of constructing of electro-acoustic aeriels, intended for work in a liquid is executed, accumulated for the last two decades. As a result of analysis the row of the produced base principles of constructing is set. The detailed consideration of results of technical realization allows to define perspective direction of constructing of such devices at application them in future multimedia acoustic technologies. On each of the resulted base principles of constructing the examples of his practical realization are presented as industrial prototypes of constructions of aeriels.

Ключевые слова: антенные решетки, гидроакустические антенны, конструирование антенн, преобразователь, электроакустические приборы.

Вступ

Серед мультимедійних акустичних технологій найбільше поширення знайшли технології, пов'язані з рідинними середовищами. До них відносяться гідроакустичні технології, екологічно чисті звукові технології поліпшення промислових стоків, ультразвукові технології структуризації розчинів металів, сплавів і т.п. Серед електроакустичних приладів, призначених для роботи в рідинному середовищі, важливе місце займають гідроакустичні антени. Оскільки конструкції антен визначаються головним чином їх призначенням, діапазоном робочих частот та умовами

експлуатації, то велике розмаїття гідроакустичних технологій обумовило появу великої кількості як підходів до конструювання таких елементів підводної електроакустичної апаратури як гідроакустичні антени, так і конструкцій самих антен. Виходячи з принципової важливості конструкторсько-технологічних аспектів створення нової техніки, видається доцільним проаналізувати накопичений за останні десятиліття досвід конструювання таких електроакустичних приладів. Цьому аналізу і присвячена дана стаття.

Крім того ця доцільність доповнюється ще й тим, що до цього часу було мало публікацій, в тому числі і й у відкритій літературі, які були присвячені питанням конструкторсько-технологічної реалізації електроакустичних приладів різного призначення. Особливо це стосується розрахункового забезпечення конструювання таких приладів, що в принципі унеможлиблює створення оптимальних в тому чи іншому сенсі конструкцій. Тому дана стаття започатковує серію публікацій, в яких будуть аналізуватись сучасні проблеми конструювання електроакустичних приладів для мультимедійних акустичних технологій.

Аналіз розроблених конструкцій електроакустичних антен, призначених для роботи в рідинах [1, 2, 3, 4], дозволив визначити в якості основних при конструюванні такі принципи:

- дискретності побудови антен з використанням індивідуальної і загальної герметизації перетворювачів;
- конструювання антен з жорстким і гнучким несучими каркасами;
- модульний принцип побудови конструкцій антен;
- побудови конструкцій антен з управлінням їх формою і розмірами;
- створення решітчастості конструкції антени;
- суміщення в одному об'ємі конструкцій різних антен.

Принцип дискретності побудови антен з використанням індивідуальної і загальної герметизації перетворювачів

В гідроакустичних технологіях основне застосування знайшли конструкції гідроакустичних

антен у вигляді решіток, які складаються із гідроакустичних перетворювачів, гідроакустичних екранів та електричних ліній комунікацій. Дискретні антени, до яких відносяться антенні решітки, по конструктивному виконанню розподіляють на два типи – антени, що складаються із конструктивно з'єднаних перетворювачів з індивідуальною герметизацією, і антен, перетворювачі яких розміщені в герметичному корпусі. Конструкції першого типу притаманні гідроакустичним антенам, які працюють в діапазонах середніх та низьких звукових частот. Конструкції антен, що складаються із негерметизованих перетворювачів і мають загальний герметизуючий корпус, знайшли поширення в діапазоні високих звукових частот. Типові конструкції дискретних гідроакустичних антен різного призначення наведені на рис. 1–4.

Принцип конструювання антен з жорсткими і гнучким несучими каркасами

Конфігурація та конструктивне оформлення антен залежить від цільового призначення їх та розміщення елементів. По конфігурації конструкції антени поділяють на лінійні, циліндричні, сферичні, підковоподібні, конформні. Характерна ознака багатоелементних антен – використання жорсткої несучої конструкції у вигляді спеціально виготовленого каркасу-решітки, на якій закріплені окремі індивідуально герметизовані перетворювачі. Каркас виготовляють із металу або полімерного матеріалу, наприклад, склопластику або вуглепластику. Такий підхід дозволяє жорстко регламентувати відстані між центрами перетворювачів в антенних решітках, забезпечувати тим самим реалізацію заданих електроакустичних параметрів антен. При розробці жорсткої конструкції дискретної антени слід витримувати задану густину заповненої перетворювачами робочої поверхні антени.

Перетворювачі в конструкції випромінюючої антени потрібно розміщувати із якомога меншими зазорами. Це обумовлено тим, що зазори являють собою вторинні джерела звуку, які в більшості своїй випромінюють звук в протифазі з основними перетворювачами антен, погіршуючи тим самим сумарне звукове поле антен. Якщо в конструкції антени неможливо зробити малі зазори, то їх акустичний вплив слід обмежити спеціальними акустичними методами [4]. Типова конструкція дискретної випромінюючої антени з жорстким несучим каркасом 1 зображена на рис. 1а. Низька робоча частота кругової циліндричної антени, малий розмір її діаметра і великі, відносно діаметра антен розміри плоских випромінюючих поверхонь стержневих перетворювачів 2 обумовили появу між ними великих зазорів 3 в конструкції антени. З метою зменшення їх акустичного впливу зазори конструкційно виконані з податливими боковими гранями 4 завдяки чому вони перетворюються в хвильовидний акустичний екран [4] і не пропускають звук.

В більшості випадків особливо коли поверхня випромінювання антени має бути суцільною, компоновка перетворювачів в антені визначається лише технологічними міркуваннями. В ряді випадків конструкції гідроакустичних антен виконують з гнучкими зв'язками між елементами. Це стосується в першу чергу антен, конструкції яких повинні змінювати свої розміри і форму при переході їх транспортного положення в робоче або навпаки.

Типова конструкція такої антени наведена на рис. 1б і являє собою дискретну лінійну антену нежорсткої конструкції, утворену із пластичних перетворювачів 1, механічно з'єднаних між собою за допомогою фалу 2, а електрично – морського кабелю 3. Завдяки таким гнучким зв'язкам конструкція антени може змінювати свою форму і розміри в транспортному положенні.

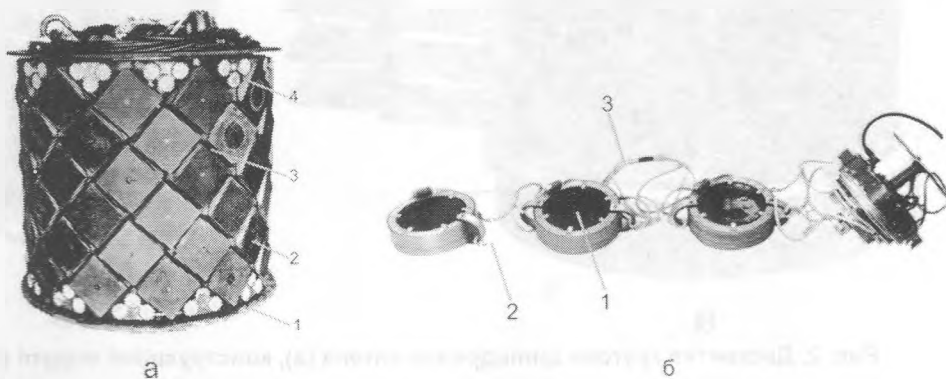


Рис. 1. Типова конструкція дискретної випромінюючої антени з жорстким несучим каркасом (а), антена зі змінними розмірами і формою (б)

Особливостями конструкцій антен з гнучкими зв'язками між елементами є необхідність включення до їх складу елементів, які забезпечують надання конструкції антени в робочому положенні заданої форми. Це може бути або грузило необхідної маси, якщо антена працює в вертикальному положенні, або елемент у вигляді паруса для конструкцій антен, які буксируються або працюють в потоці рідини. Ще однією особливістю конструкцій таких антен є необхідність введення до їх складу конструкційних елементів, які б здійснювали захист гідроакустичних перетворювачів від гідродинамічних завад, які виникають при обтіканні їх поверхонь потоком рідини, що набігає на реконструкцію антени. Практична реалізація конструкційних елементів може бути дуже різноманітною. Перш за все, до них відносяться антенні обтічники, конструкції яких захищають від гідродинамічного потоку або всю антену, або окремі її елементи – гідроакустичні перетворювачі або кабель, на якому підвішується антена в робочому положенні, або кабель-трос, за допомогою якого антена буксирується за носієм. Особливістю конструкцій цих обтічників є їх не жорсткість. Зазвичай це є або сітки з полімерного матеріалу, або бахромний матеріал, або гнучка суцільна оболонка. При цьому розмір комірок сітки, або бахроми матеріалу та відстані між поверхнями суцільної оболонки та перетворювачів обирається з урахуванням робочої частоти антени.

Іншим варіантом виконання захисних конструкційних елементів в нежорстких конструкціях антен є надання їх гідроакустичним перетворю-

вачам обтічної форми. Зазвичай ця форма має вигляд краплі. Ще одним із варіантів захисту конструкцій антен від гідродинамічного збурення потоком рідини поверхонь їх гідроакустичних перетворювачів є нанесення на ці поверхні або вприскування в потік біля них спеціально розроблених полімерних матеріалів. Завданням цих матеріалів є перетворення на поверхні гідроакустичних перетворювачів гідродинамічного потоку в ламінарний. Природно, що наведені вище підходи до практичної реалізації захисних конструкцій застосовуються лише при побудові прийомних гідроакустичних антен.

Модульний принцип побудови конструкцій антен

Модульний принцип побудови конструкцій антен застосовується там, де конструкції антен мають великими всі лінійні розміри, або хоча б один із них. При цьому несучі конструкції можуть бути і жорсткими, і з гнучкими зв'язками між елементами. Модульний принцип конструювання полягає в тому, що каркас антени складається із кількох однакових модулів, які жорстко з'єднуються між собою. Це дозволяє зробити конструкцію антени більш технологічною при виготовленні та значно спростити як транспортування антени до об'єкту експлуатації, так і її наступний монтаж на місці експлуатації. На рис. 2 зображена конструкція дискретної кругової циліндричної антени (рис. 2, а), набраної із конструкційних модулів (рис. 2, б), встановлених через амортизатори на платформі 1.

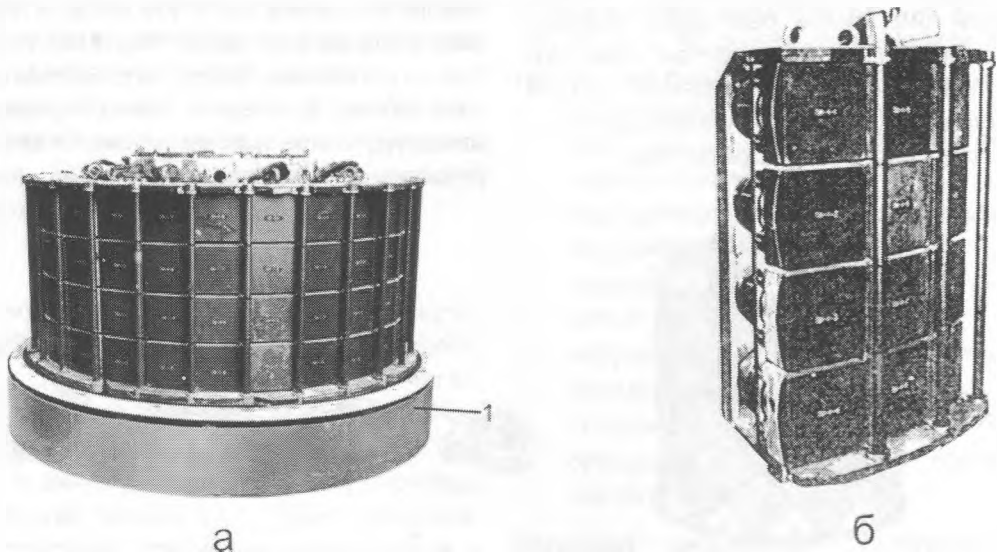


Рис. 2. Дискретна кругова циліндрична антена (а), конструкційні модулі (б)

Принцип побудови конструкцій антен з управлінням їх формою і розмірами

Суттєве значення серед загальних підходів до конструювання гідроакустичних антен має використання принципу побудови конструкцій антен з управлінням їх розмірами. Саме застосування цього принципу дозволяє знайти компромісні рішення при технічній реалізації таких суперечних вимог як малі розміри відсіків, в яких розміщуються антени при їх транспортуванні на носіях ряду типів, і великі габаритні розміри антен, пов'язані з необхідністю забезпечення роботи цих антен в області низьких звукових частот. Суть принципу управління розмірами антени полягає в тому, що її конструкція дозволяє змінити свою форму і розміри. Завдяки цьому в транспортному положенні конструкція антени трансформується до тих форми і розмірів, які вимагають від неї транспортні відсіки відповідних носіїв, а в робочому положенні тим чи іншим чином змінює свої форми і розміри до таких, які забезпечують технічні вимоги до антен з боку відповідного гідроакустичного обладнання. Важливим моментом в процесі конструювання антен є пошук рішення побудови конструкційного елемента, який реалізує трансформацію форми і розмірів антени. Тут можливі варіанти із застосуванням різних фізичних принципів. Саме необхідність забезпечення трансформації форми та розмірів антен з використанням принципу земного тяжіння, який реалізується в конструкції антени, що займає в робочому стані вертикальне положення, шляхом підвісу грузу на її нижньому кінці, привела до появи конструкцій антен з гнучкими зв'язками між елементами (рис. 1, б).

Для нежорстких конструкцій антен, які буксируються за носієм, трансформація форми і розмірів антени забезпечується появою на протилежному від носія кінці антени хвостового гальмуючого парашута, який на основі принципів гідродинаміки створює необхідну розтягуючу силу. Для антен жорсткої конструкції трансформація їх форми і розмірів може здійснюватись з використанням:

- відповідних електричних приводів;
- спеціально виготовлених пружних елементів, наприклад, зворотних пружин;
- конструкційних елементів, які приводяться в дію гідростатичним тиском;
- спеціальних конструкційних матеріалів з пам'яттю, які при певних умовах приймають ті форми та розміри, що були закладені при виготовленні в їх пам'ять.

На рис. 3 представлена конструкція дискретної плоскої антени з акустичним екраном хвилювидного типу в робочому (а) та транспортному (б) положеннях. Зміна форми та розмірів конструкції антени обумовлена її унікальною побудовою. Конструкція складається із тонких ступеневоподібних пластин 1, що утворюють решітчастий акустичний екран, та електроакустичних перетворювачів 2, які розміщуються на фронтальних поверхнях пластин. Кожна пластина утворена із кількох секцій, які зміщені по висоті послідовно одна відносно другої на величину, що перевищує товщину пластини. Секції з'єднані між собою за допомогою шарнірів 3, завдяки чому вони мають можливість розвертатись та розміщуватись одна під другою в транспортному положенні. Перехід в робоче положення здійснюється за допомогою зворотних пружин.

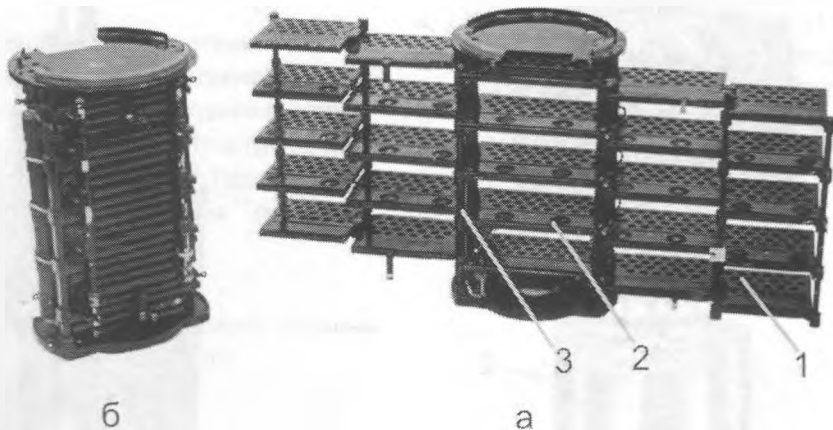


Рис. 3. Конструкція дискретної плоскої антени з акустичним екраном хвилювидного типу в робочому (а) та транспортному (б) положеннях

Принцип суміщення в одному об'ємі конструкцій різних антен

Ще одним варіантом компромісу, знайденим з метою вирішення проблеми розміщення гідроакустичних антен великих розмірів в транспортних відсіках обмежених розмірів носіїв гідроакустичних станцій, є суміщення в об'ємі цього відсіку конструкцій кількох антен великих габаритів, кожний з яких є порівняним з розмірами відсіку. Цим варіантом є поява гідроакустичних антен нового типу – конструктивно сумісних антенних систем. Конструктивно сумісні антенні системи є таке об'єднання в єдиній антенній системі конструкцій двох або більше антен близьких розмірів, при якому об'єм конструкції антенної системи не перевищує найбільшого з об'ємів конструкцій цих антен. На сьогоднішній день практичну реалізацію знайшли конструктивно сумісні антенні системи двох видів – з розділеними функціями прийому і випромінювання та такі, що працюють в різних діапазонах робочих частот.

Конструктивно сумісні антенні системи з розділеними функціями прийому і випромінювання являють собою об'єднання в одному об'ємі конструкцій двох функціонально різних незалежних антен – прийомної і випромінюючої, об'єми яких порівняні з об'ємом конструкції антенної системи. Така побудова антенних систем дозволяє:

- розширити можливості, як вже відмічалось, пошуку компромісних рішень при реалізації таких суперечних вимог як збільшення габаритів антен, обумовлене зниженням їх робочих частот при збереженні направлено-

сті і наявність обмежених розмірів транспортних відсіків носіїв, в яких розміщуються ці антени;

- наблизити технічну реалізацію суттєво відмінних вимог до приймальної і випромінюючої антен до раціонально можливої;
- розширити можливості антен як багатофункціональних антенних систем.

Аналіз різних конструктивних схем побудови таких антенних систем показав, що незважаючи на функціональну незалежність антен, об'єднання їх в єдиному конструктивному об'ємі приводить до залежності параметрів кожної із антен від значень параметрів другої в силу взаємодії звукових полів, які формуються цими антенами. Але виходячи з тих суттєвих переваг, які надає практична реалізація цього компромісного рішення, були виконані широкі теоретичні і експериментальні дослідження характеру і ступеню взаємодії антен в єдиній конструктивній антенній системі в залежності від великого різноманіття факторів, що визначаються властивостями антен та їх елементів та створені теоретичні засади побудови таких антенних систем [4].

Конструкції антенних систем, які складаються із двох антен – прийомної 1 та випромінюючої 2, зображені на рис. 4. Конструкція антенної системи рис. 4а являє собою об'єднання конструкцій двох рознесених в просторі антен, а рис. 4б – таке об'єднання двох таких же антен, при якому випромінююча антена 2 розміщується всередині об'єму прийомної антени 1. Таким чином, досягається зменшення об'єму антенної системи на величину об'єму випромінюючої антени.

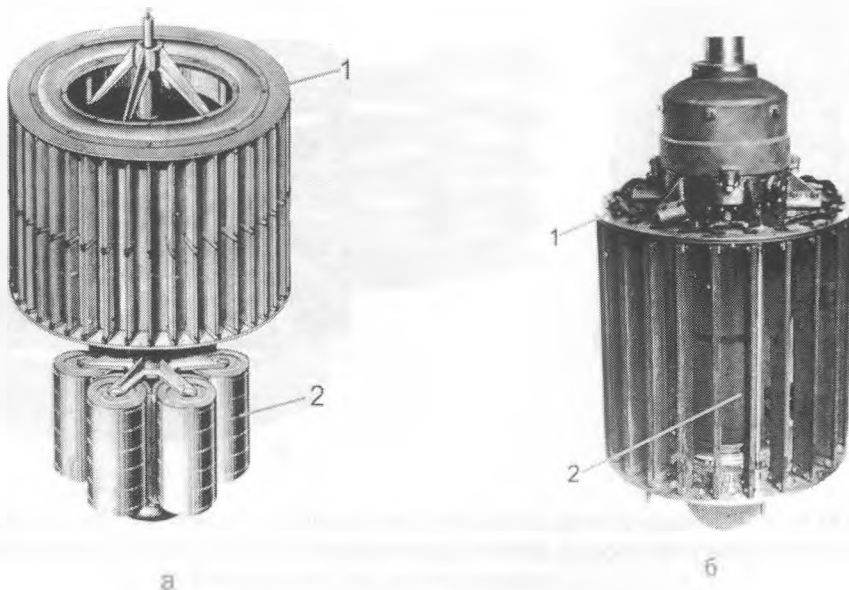


Рис. 4. Конструкції антенних систем

Більшість конструкцій гідроакустичних антен і антенних решіток, а також антен інших видів – рефлекторних, рупорних, лінзових, мають суцільну поверхню і великий опір гідродинамічному потоку. Цей опір обумовлює відхилення осі антени від вертикалі, величина якого пропорційна квадрату швидкості потоку. При вирішенні задач кругового огляду навколишнього простору шляхом механічного обертання гідроакустичної антени доводиться стикатися з проблемою забезпечення рівномірності обертання та малощумності приводу. Крім того із зниженням робочої частоти зростають вимоги до обтічності антени, оскільки частота зриву вихрів при обертанні антени наближається до робочої, а це обумовлює появу структурних завод – шумових та вібраційних. У зв'язку з наведеним, виникає необхідність у зниженні сумарної сили лобового опору конструкції антени гідростатичному напору рідини.

Антенами решітчастої конструкції будемо називати такі гідроакустичні антени, у яких між елементами конструкції є значні просвіти [2]. Порівняно з суцільними антенами вони мають кращі гідродинамічні характеристики. Це дозволяє, по-перше, зберігати незмінним момент обертання антени, суттєво збільшити площу ефективною поверхню решітчастої антени і, по-друге, відкрити нові можливості побудови конструкцій антен з управлінням їх розмірами. В якості кількісного критерію «ступені решітчастості» конструкції може бути використаний коефіцієнт решітчастості. Він визначається як відношення K_p ефективною площі фронтальною поверхню антени S_{ef} до площі S_k фронтального перерізу

елементів конструкції антени: $K_p = \frac{S_{ef}}{S_k}$. Чим

вище коефіцієнт решітчастості антени, тим ширше можливості збільшення ефективною поверхню антени, залишивши її гідродинамічні характеристики в допустимих межах. Практична реалізація решітчастості конструкцій гідроакустичних антен досягається шляхом побудови

безекранних об'ємних антенних решіток, в яких низький рівень тильного пелюстка формується з допомогою електричних ланцюгів, або антенних решіток з акустичним екраном, в яких екран або перфорується, або виконується як хвилевидна конструкція. Конструкція такої антени наведена на рис. 3.

Висновки

Проведений аналіз особливостей конструювання електроакустичних антен для рідинних акустичних технологій показав, що практика розробки конструкцій антен в останні десятиліття суттєво збагатилась і розвинулась завдяки появі та впровадженню багатьох нових ідей, про які раніше конструкторська наука не мала уяви. В той же час, розрахункове забезпечення розробки конструкцій електроакустичних антен на основі перерахованих вище принципів конструювання майже відсутнє, у зв'язку з чим завдання оптимізації конструктивних рішень не може бути вирішеним. Тому в майбутньому представляється доцільним, виходячи з результатів наведеного аналізу, приділити суттєву увагу розробці методів розрахункового забезпечення конструкцій таких антен.

Література

1. Шамарин Ю.Е., Лейко А.Г., Шамарин А.Ю., Ткаченко В.П. Технология акустических антенн. – Киев: 2001. – 256 с.
2. Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. – Л.: Судостроение, 1988. – 200 с.
3. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі. – Кіровоград: Імекс-ЛТД, 2006. – 448 с.
4. Кобяков Ю.С., Кудрявцев Н.Н., Тимошенко В.И. Конструирование гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. – Л.: Судостроение, 1986. – 272 с.
5. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.П. Подводные акустические антенны. – Киев: 2000. – 320 с.