

УДК 681.2

О.М. Безвесільна, д.т.н, проф.
Р.В. Бичук, магістр**ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СОНАРУ**

Національний технічний університет України "КПІ"

*Досліджено основні характеристики ультразвукового сонару.**Ключові слова: сонар, передатчик, кут перетворення, робоча частота, кристал.***Галузь використання. Актуальність вирішуваної у статті задачі**

Відомості про відстань H до об'єкту вимірювання (ОВ) необхідні у гідролокації, у навігації рухомих об'єктів (підводних та надводних човнів), в акустиці, у галузі реєстрації та відліку лінійних та кутових параметрів та інших. Інформація щодо H ефективно вимірюється ехолотами або сонарами. Інформація від сонарів необхідна для ефективного розвитку рибного господарства, морської та повітряної навігації ОВ, автомобільної галузі та інших. У [1] показано, що найбільш перспективним є сонар, оснований на використанні прямого та зворотного п'єзо ефектів, що описані у [1].

Стан вирішуваної проблеми

Однак, у відомій літературі [1-2 та інш.] практично не описано роботу сонарів, їх склад та призначення основних елементів сонару, основні характеристики елементів сонару.

Мета даної статті – описати роботу сонару, його склад та призначення основних елементів сонару, основні характеристики елементів сонару.

Викладення основного матеріалу статті

Сонар це пристрій, що надає ультразвукові імпульси крізь товщу води і приймає їх відлуння від об'єкту вимірювання (морського чи річного дна, скопища риби або будь – яких занурених у воду предметів (підводних човнів, рифів або інших). Послідовний запис показів приладу дозволяє отримати карту дна моря або річки, відстань до об'єкта (наприклад, - до рифу, при паркуванні автомобіля – до стіни або бровки та інш.).

Працює сонар наступним чином. Електричний імпульс від передатчика перетворюється перетворювачем (який у даний момент працює як джерело випромінювання) в ультразвукову хвилю, що розповсюджується у водному середовищі. Коли ультразвукова хвиля зустрічає на своєму шляху ОВ, то частина хвилі відбивається від ОВ і повертається назад до перетворювача, який тепер уже працює як приймач. Перетворювач обертає відбиту хвилю в електричний імпульс, який підсилюється приймачем і виводиться на екран.

Так як швидкість звука у воді постійна (1,5 км/с), то, вимірюючи час між випромінюванням сигналу і поверненням відбитого сигналу, можна виміряти відстань H до ОВ. За час однієї секунди цей процес відбувається багато разів. Найбільш часто використовуються частоти 192 кГц та 50 кГц. Ці частоти знаходяться в ультразвуковому діапазоні. Вони не досяжні ні для людського вуха, ні для риби (сонар не буде відлякувати рибу).

Сонар відправляє і отримує сигнал, а потім роздруковує електричний сигнал на екрані. В одну секунду цей процес відбувається багатократно. Тому на екрані з'являється безперервна лінія. Що відображає профіль дна під об'єктом, що рухається (це може бути човен, корабель або інш.). Глибину до дна або відстань до ОВ (підводного човна, або – до косяка риби) сонар розраховує, враховуючи швидкість звука у воді і виміряного ним часу проходження сигналу до ОВ та зворотно.

Сучасний сонар має мати наступні основні компоненти та характеристики: передатчик великої потужності, ефективний перетворювач, чутливий приймач, екран з високою розрахунковою здатністю та контрастністю.

Всі компоненти сонару мають бути спроектовані для сумісної роботи при будь – яких погодних умовах, та при будь – яких температурах. Велика потужність передавача гарантує можливість отримання нормального ехо сигналу навіть з великих глибин і при поганому стану води, дозволяє розглянути деталі підводного середовища (наприклад, донну структуру).

Приймач працює з сигналами у дуже широкому діапазоні рівнів Він має подавляти сигнали великої амплітуди під час роботи передавача і підсилювати слабкі електричні сигнали, які виникають,

коли відбитий ехо сигнал досягає перетворювача. Він також має забезпечувати гарну чітку видимість на екрані об'єктів, що розташовані близько, розділяючи для цього електричні імпульси.

Екран має мати високу розрахункову здатність, тобто достатню кількість пікселів по вертикалі, а також мати високу контрастність, щоб всі деталі на екрані було видно чітко і ясно. Це дозволяє розглядати на екрані дугообразні сигнали від ОВ, розташованого під водою.

Робоча частота сон арів. Кожна з частот має свої переваги і свої недоліки. Але для більшості випадків використання як у прісній, так і у солоній воді частота 192 кГц надає найкращі результати. На цій частоті найкраще видні мілкі деталі; з нею сонар краще працює на мілководді і у русі на швидкості. З нею на екрані забезпечується найменше «шуму» і небажаних ехо сигналів. На частоті 192 кГц досягається найкраща розрахункова здібність: якщо два ОВ знаходяться близько один від одного, то на екрані вони у цьому випадку будуть видні як два окремих об'єкта, а не як одна пляма.

У той же час, є ситуації, коли краще використовувати частоту 50 кГц. Наприклад, випромінювання сонару, працюючого на частоті 50 кГц (при тих же умовах, при тій же потужності), проходить на більшу глибину, чим випромінювання на частоті 192 кГц. Це пов'язано з різною можливістю води поглинати ультразвукову енергію різних частот. Коефіцієнт поглинання для більш високих частот більше, ніж для низьких. Тому частота 50 кГц, в основному використовується у глибоководних морських умовах. Кут обзору ультразвукових хвиль при використанні частоти 50 кГц більше, чим у випромінювачів, що працюють на частоті 192 кГц. Широкий кут обзору надзвичайно корисний при русі судна на мілководді при наявності рифів та скал.

Перетворювачі. Перетворювач сонару перетворює електричну енергію в ультразвукові хвилі високої частоти. У перетворювачі поєднані дві функції: перетворення електричної енергії у звукову (випромінювач) і, зворотно, – звукової енергії в електричну (приймач). Кожний перетворювач може працювати лише на одній окремій частоті. І випромінювач, і приймач мають працювати на одній частоті. Це або 50 кГц, або 192 кГц. Ехо сигнали інших частот мають відфільтровуватись. Окрім того, перетворювач має працювати з тією потужністю, яку розвиває передатчик. Він має перетворювати у звукову енергію максимальну долю електричної енергії, що поступає у нього. Окрім того, перетворювач має бути дуже чутливим, щоб реєструвати дуже слабкі ехо сигнали, що повертаються. Перетворювач має бути надзвичайно ефективним для доброї роботи сонару.

Робочий кристал перетворювача. Активним елементом перетворювача є штучний кристал (цирконат свинцю або титанат барію). Цей кристал виконує перетворення одного виду енергії в інший і зворотно. Компоненти майбутнього кристалу спочатку змішуються у рідинному вигляді. Потім розливаються по формам. Форми розміщуються у спеціальні печі, де склад під дією температури перетворюється у твердий кристал. Після охолодження на протилежні поверхні кристала наносяться електропровідні покриття, в які вживлені провідники для підключення до передатчика і приймача. Форма кристала визначає його робочу частоту і кут випромінювання звукових хвиль. У більшості сонарів використовуються циліндричні кристали. У них товщина циліндра визначає його робочу частоту, а діаметр – кут конуса випромінювання. Чим більше діаметр кристала, тим менше кут конуса випромінювання. Для частоти 192 кГц кут конуса випромінювання у 20 градусів буде при діаметрі кристала $D=25$ мм. Якщо $D=50$ мм, то кут конуса випромінювання зменшиться до 8 градусів при тій же робочій частоті.

Корпуса перетворювачів. Перетворювачі випускаються усіх форм та розмірів. Більшість перетворювачів має пластмасовий корпус, але частина з них має корпус із бронзи. Розміри перетворювача визначаються розмірами розміщеного у ньому кристалу. Сьогодні відомі 4 основних різновиди перетворювачів: для встановлення через корпус, для прострільної роботи крізь корпус, портативні, для установки на транці.

Перетворювачі для встановлення через корпус кріпляться через отвір, просвердлений у корпусі судна. Звичайно вони мають довгу ніжку, яка проходить крізь корпус. Вона призначена для кріплення перетворювача за допомогою спеціальної гайки. Якщо перетворювач встановлюється на днищі з примітною кілеватістю, то необхідно використати спеціальну вирівнюючу підставку з дерева або пластика, щоб ніжка перетворювача прийняла вертикальний стан, а випромінююча поверхня перетворювача мала горизонтальне положення. Такого типу перетворювачі зазвичай ставляться на судах зі стаціонарним двигуном так, щоб вони знаходились попереду рульового пера, гребного гвинта та інших предметів, що виступають з днища.

Перетворювачі для прострільної роботи крізь корпус кріпляться у середині корпусу на

днищі за допомогою, наприклад, епоксидних компаундів. Звукові хвилі передаються і приймаються крізь корпус судна. Однак при цьому дещо погіршуються характеристики сонару. Корпус судна має бути у місці кріплення перетворювача зроблений з монолітного склопластика. Не можна встановлювати перетворювачі для роботи крізь алюмінієві, сталеві або дерев'яні корпуси. Звук не проходить крізь повітря і метал. Для установки у місці склопластикового корпусу не має бути конструкційних прокладок з дерева, матеріалів з піни або метала. Ще одним недоліком цього типу установки є неможливість підстройки положення перетворювача у процесі експлуатації для отримання найкращих дугоподібних сигналів. Переваги перетворювачів для прострільної роботи крізь корпус наступні: випадкові удари плаваючих предметів або підводні перешкоди не впливають на перетворювач; робота перетворювача не залежить від осадки судна; перетворювач не знаходиться у потоці води і, якщо він встановлений там, де під днищем забезпечене ламінарне обтікання водою при всіх режимах руху, то ехо сигнал має найбільш чисту форму з мінімумом перешкод.

Портативні (переносні) перетворювачі встановлюються на судні тимчасово. Зазвичай, ці перетворювачі мають одну або декілька присосок, які дозволяють швидко кріпити їх до корпусу. Деякі портативні перетворювачі мають адаптери для кріплення до корпусу електричного провідного двигуна.

Перетворювачі для установки на транці встановлюються на транці судна так, щоб вони знаходились у воді, зазвичай, трохи нижче рівня днища.

З усіх різновидів перетворювачів це найбільш популярний спосіб установки. Гарно сконструйований перетворювач буде працювати майже на будь – якому корпусі (за виключенням суден зі стаціонарним двигуном) навіть і при великих швидкостях.

Вплив швидкості на перетворювачі. У наш час судна стали більш досконалими. З'явилась потреба встановлювати на них стаціонарні сонари (а не переносні, як раніше, що працювали при обмежених швидкостях суден), які б працювали при всіх швидкостях суден. ЦК призвело до розробки перетворювачів, працюючих в умовах швидкостей більш широкого діапазону.

Але при великих швидкостях виникає явище кавітації, яке перешкоджає нормальній роботі перетворювачів. Кавітація це процес утворення у потоці рідини (при її турбулентній течії) розривів, заповнених позирками повітря. Якщо ці позирки проходять повз корпус перетворювача, в якому знаходиться робочий кристал, то НП екрані з'являється «шум». Сонар призначений для роботи у воді, а не у повітрі. А позирки відправляють звук обернено до перетворювача. Оскільки вони знаходяться дуже близько до джерела сигналу, то і відлуння від них іде дуже сильне. Своєю присутністю вони екранують сигнал, послаблюючи корисні сигнали від дна, від структури, від риб, роблячи їх важко розличимими. Забезпечити відсутність турбулентності не просто. Це накладає на перетворювач свої вимоги. Він має бути маленьким, щоб не знаходився у зоні збурення потоку, що створюється підвісним двигуном. Він має легко встановлюватись на транці з мінімальною кількістю отворів. Він має відкидатись при можливому ударі через якусь перешкоду.

Однак, для забезпечення відсутності впливу конструкції судна (його корпусу), потрібно встановлювати корпус перетворювача так, щоб він знаходився нижче пазиркового шлейфу. Це значить, що кронштейн кріплення перетворювача потрібно зсувати в цьому випадку, наскільки це можливо, униз по транцю.

Кут перетворення перетворювача. Картина розповсюдження звукових хвиль являє собою конус, звідси появився термін «кут конуса», який є характеристикою розходимості звукового випромінювання. По осі конуса потужність звукових хвиль максимальна. Чим далі від осі, тим більше вона поступово зменшується до нуля.

Для визначення величини конуса для конкретного перетворювача, необхідно спочатку заміряти потужність випромінювання по осі конуса. А потім порівняти його зі значеннями, отриманими у різних точках на відстані від осі. Далі потрібно знайти ту точку, у якій потужність випромінювання буде дорівнювати половині максимального значення (-3 db). Кут між лінією, проведеною з вершини конуса через точку половинного значення потужності з однієї сторони від осі і такою ж лінією з іншої сторони осі, і є кут конуса.

Вимірювання кута по рівню половинної потужності (-3 db) є загально прийнятим стандартом в електронній промисловості. Але інколи кут вимірюють по рівню 0,1 від максимальної потужності (-10 db). Очевидно, що при такому способі вимірювання кут конуса буде більше.

Звичайно, робота сонару не залежить від способу вимірювання розходимості його звукового випромінювання. Змінюється тільки система вимірювання параметрів його роботи. Наприклад, якщо при вимірюванні по рівню -3 db розходимість виявилась рівною 8 градусам, то при вимірюванні того ж випромінювання по рівню -10 db кут конусу буде рівним 16 градусам.

Перетворювачі з робочою частотою 192 кГц випускається як з вузьким кутом конусу, так і з широким. У водоймах прісної води використовують перетворювачі з широким кутом конуса. На морі використовують перетворювачі з вузьким кутом конуса. Випромінювачі з робочою частотою 50 кГц, зазвичай, мають кути конуса 30 -45 градусів. Можливо отримувати ехо сигнали і за межами цього конуса. Однак, ці сигнали можуть бути слабкими.

Кут ефективного конуса – це область у середині конуса випромінювання, ехо сигнали з котрої видні на екрані сонару. Кут ефективного конуса малий тоді, коли, наприклад, відомо, що з'явилась риба, але на екрані, завдяки низькій чутливості, вона не видна. Змінюючи чутливість приймача, можна змінювати кут ефективного конуса. Якщо чутливість низька, то на екрані буде показано тільки ту рибу, яка знаходиться прямо по осі конуса, тобто точно під судном, а межі визначення лінії дна будуть невеликими. Збільшення рівня чутливості збільшує ефективний кут, дозволяючи бачити об'єкти, які знаходяться значно далі по сторонам.

Висновки

1. Інформація від сонарів необхідна для ефективного розвитку рибного господарства, морської та повітряної навігації ОВ, автомобільної галузі та інших;
2. Сучасний сонар має мати наступні основні компоненти та характеристики: передатчик великої потужності, ефективний перетворювач, чутливий приймач, екран з високою розрахунковою здатністю та контрастністю.
3. Велика потужність передавача гарантує можливість отримання нормального ехо сигналу навіть з великих глибин і при поганому стану води.
4. Приймач працює з сигналами у дуже широкому діапазоні рівнів Він має подавляти сигнали великої амплітуди під час роботи передавача і підсилювати слабкі електричні сигнали.
5. Екран має мати високу розрахункову здатність.
- На частоті 192 кГц досягається найкраща розрахункова здібність. Частота 50 кГц, в основному, використовується у глибоководних морських умовах. Кут обзору ультразвукових хвиль при використанні частоти 50 кГц більше, чим у випромінювачів, що працюють на частоті 192 кГц. Широкий кут обзору надзвичайно корисний при русі судна на мілководді при наявності рифів та скал;
6. І випромінювач, і приймач мають працювати на одній частоті. Це або 50 кГц, або 192 кГц. Ехо сигнали інших частот мають відфільтровуватись. Окрім того, перетворювач має працювати з тією потужністю, яку розвиває передатчик;
7. У більшості сонарів використовуються циліндричні кристали. У них товщина циліндра визначає його робочу частоту, а діаметр – кут конуса випромінювання. Чим більше діаметр кристала, тим менше кут конуса випромінювання;
8. Товщина циліндра визначає його робочу частоту, а діаметр – кут конуса випромінювання. Чим більше діаметр кристала, тим менше кут конуса випромінювання;
9. Сьогодні відомі 4 основних різновиди перетворювачів: для встановлення через корпус, для прострільної роботи крізь корпус, портативні, для установки на транці;
10. На перетворювач накладаються вимоги. Він має бути маленьким, щоб не знаходитись у зоні збурення потоку, що створюється підвісним двигуном. Він має легко встановлюватись на транці з мінімальною кількістю отворів. Він має відкидатись при можливому ударі через якусь перешкоду;
11. Збільшення рівня чутливості збільшує ефективний кут, дозволяючи бачити об'єкти, які знаходяться значно далі по сторонам.

Список літературних джерел

1. Безвесільна О.М. Елементи систем автоматизованого управління. Житомир: видавництво ЖДГУ, 2008р. - 700с.
2. Безвесільна О.М., Чичикало Н.І., Ларін В.О., Федоров Є.Є., Добржанський О.О. Технологічні вимірювання та прилади. Житомир: видавництво ЖДГУ, 2011р. - 542с.