

CO NIECO O HYDROAKUSTYCE

opracowanie: Zenon Markowski

Zapraszamy do zapoznania się z publikacją, która ma za zadanie przybliżyć sposób pracy echosondy oraz przetworników

FALE AKUSTYCZNE

Do przesyłania sygnałów w wodzie wykorzystywane są fale akustyczne. W odróżnieniu od fal elektromagnetycznych, które są bardzo silnie tłumione w wodzie, fale akustyczne w zależności od częstotliwości, praktycznie mogą być wykrywane na odległość kilku, a nawet kilkunastu tysięcy metrów. Fala akustyczna powstaje w wyniku rozchodzenia się sprężystego odkształcenia w przestrzeni wodnej pobudzanej przez mechanicznie drgający element jakim jest przetwornik ultradźwiękowy. W wyniku takiego mechanicznego pobudzania następują cykliczne zmiany ciśnienia w wodzie tworząc na przemian miejsca o większym i mniejszym ciśnieniu. Amplitudy wartości ciśnień maleją w miarę oddalania się od źródła pobudzającego.

Prędkość rozchodzenia się fali akustycznej jest określana jako prędkość przemieszczania się czoła fali akustycznej. Prędkość fali akustycznej c wynosi:

$c = \lambda / T$ lub $c = \lambda f$, gdzie λ jest długością fali, T jest okresem czasu, jaki upływa od wystąpienia jednego maksimum ciśnienia do wystąpienia następnego, $f = 1/T$ jest częstotliwością występowania zmian ciśnienia w czasie sekundy. Częstotliwość zmian ciśnienia jest równa częstotliwości pobudzania ośrodka w którym rozchodzi się fala akustyczna, czyli częstotliwości drgań przetwornika akustycznego.

Prędkość rozchodzenia się fali akustycznej zależy od właściwości fizycznych ośrodka. W różnych ośrodkach fale akustyczne rozchodzą się z różnymi prędkościami, przykładowo:

- w wodzie morskiej średnia prędkość wynosi 1500 m/sek.
- w powietrzu średnia prędkość wynosi 340 m/sek.
- w stali średnia prędkość wynosi 5000 m/sek.

Uwaga: Ponieważ do powstawania fali akustycznej niezbędny jest ośrodek zdolny do wywoływania zmian ciśnienia, stąd wniosek, że w próżni fala akustyczna nie powstaje i nie może się rozchodzić. Wiedza o tym zjawisku jest istotna z punktu widzenia zastosowania hydroakustyki w rybołówstwie, ponieważ zdarza się, że na skutek dostarczenia zbyt dużej energii do przetwornika, przy jego powierzchni może powstać warstwa próżni blokująca przekazywanie energii akustycznej do ośrodka (zjawisko kawitacji). W takiej sytuacji przetwornik nie będzie obciążony i może łatwo ulec uszkodzeniu.

W wodzie morskiej prędkość głównie zależy od temperatury i od zasolenia. Ponadto prędkość dźwięku zależy także od ciśnienia panującego w wodzie. Ze wzrostem temperatury prędkość dźwięku w wodzie wzrasta i odwrotnie. Podobnie ze wzrostem zasolenia prędkość dźwięku wzrasta.

Ponieważ fale akustyczne rozchodzą się z różną prędkością w różnych ośrodkach, fala akustyczna o takiej samej częstotliwości będzie miała różną długość w różnych ośrodkach. Długość fali ma istotny wpływ na fizyczne możliwości wykrywania różnych obiektów w wodzie. Wykrywanie obiektów w wodzie polega na identyfikacji sygnałów echa od tych obiektów. Należy więc najpierw wysłać falę akustyczną przez przetwornik ultradźwiękowy nadawczy a następnie odebrać przez przetwornik odbiorczy echa odbite od tych obiektów i określić odległość do nich. Dlatego do wykrywania obiektów wysyłane są fale akustyczne w formie impulsów. Im odległość do wykrywanego obiektu jest większa, tym więcej energii akustycznej należy wysłać do wody aby uzyskać sygnał echa, który będzie się wyraźnie wyróżniał na tle szumów występujących w wodzie. Impuls nadawczy musi więc pokonać straty wynikające z geometrycznego powiększania się przestrzeni objętej falą akustyczną oraz wynikające z absorpcji fali akustycznej przez środowisko wodne.

Straty propagacyjne wynikające z absorpcji fali akustycznej w wodzie są mocno uzależnione od częstotliwości. Im wyższa częstotliwość, tym większe straty wynikające z absorpcji. W przybliżeniu, w pewnym zakresie straty rosną z kwadratem częstotliwości. Przykładowo dla dwa razy większej częstotliwości straty będą około czterokrotnie większe.

Obiekty znajdujące się w wodzie mogą odbijać i absorbować fale akustyczne z różną skutecznością. Niektóre odbijają energię fali akustycznej silniej jednocześnie mniej jej absorbując, inne odwrotnie, słabo odbijają energię a silniej absorbują. Zależy to od właściwości fizycznych obiektu oraz od jego kształtu. Zdolność obiektu do odbijania fali akustycznej określa się także w dB jako siłę celu TS (Target Source). Im więcej energii fali akustycznej odbija się od obiektu, tym ten obiekt stanowi sobą większą siłę celu.

Fala akustyczna w wodzie na ogół rozchodzi się prostoliniowo. Jednak ponieważ jej prędkość głównie zależy od temperatury oraz od zasolenia wody, jej kierunek może ulegać odchyleniu w zależności od występujących lokalnie zmian. Na warstwie granicznej pomiędzy różną temperaturą lub zasoleniem wody następuje odchylenie kierunku propagacji fali akustycznej. Zjawisko to często występuje na płytszych wodach, gdzie górne warstwy są bardziej nagrzane latem oraz bardziej schłodzone zimą niż dolne warstwy. Taki charakter ma między innymi morze Bałtyk.

Energia pola akustycznego jest proporcjonalna do amplitudy impulsu wysyłanego oraz czasu trwania tego impulsu. Aby więc wysłać większą energię w celu osiągnięcia większych odległości należałoby stosować dłuższe impulsy. Od długości impulsu zależy zdolność do rozróżniania wielkości wykrywanych obiektów. Wykrywanie mniejszych obiektów wymaga krótszej fali, a więc stosowania wyższej częstotliwości. Jednocześnie jednak wyższe częstotliwości są silniej tłumione w wodzie co powoduje osiągnięcie mniejszego zasięgu. Do uzyskania dużego zasięgu należy stosować niskie częstotliwości bo są mniej tłumione. Jednak fala akustyczna będzie wówczas dłuższa i utraci się zdolność do wykrywania małych obiektów. Małe objekty przy stosowaniu niskich częstotliwości nie będą więc skutecznie wykrywane. Można więc sformułować podstawowy wniosek: hydroakustyka wymaga wielu kompromisów. Dlatego statki rybackie wyposażane są w różne urządzenia hydroakustyczne pracujące na różnych częstotliwościach. Są one wykorzystywane stosownie do aktualnego rodzaju połowów oraz do rozmiarów poławianych organizmów. Typowy zakres częstotliwości stosowany w rybołówstwie to: 18 kHz do 300 kHz. Długości fal dla tego przedziału częstotliwości wynoszą odpowiednio od 83 mm do 5 mm. Ze względów technicznych przeważnie długość impulsu w hydroakustyce zawiera skończoną ilość długości fal. Zakładając, że impuls będzie zawierał np. 10 długości fali, wówczas dla 18 kHz jego długość w wodzie wyniesie 83 cm, natomiast dla 300 kHz długość impulsu w wodzie wyniesie 5cm. Długość impulsu ma istotny wpływ na rozróżnialność wykrywanych obiektów w wodzie oraz na uzyskiwany zasięg. Im krótszy impuls, tym lepsza rozróżnialność obiektów. Im dłuższy impuls, tym większy zasięg.

PRZETWORNIKI HYDROAKUSTYCZNE (ULTRADŹWIEKOWE)

Przetworniki ultradźwiękowe służą zarówno do generowania fali akustycznej w wodzie jak i do odbioru sygnału fali akustycznej. Obecnie powszechnie stosowane są przetworniki ceramiczne wykorzystujące zjawisko piezoelektryczności. Różnią się one konstrukcją w zależności od rodzaju urządzenia, w którym są zastosowane. W praktyce większość przetworników hydroakustycznych, zwłaszcza tych wykorzystywanych w rybołówstwie, pracuje na częstotliwościach leżących powyżej pasma słyszalnego dla przeciętnego człowieka. Dlatego zamiast określenia przetworniki hydroakustyczne używane jest także określenie przetworniki ultradźwiękowe. Przetworniki ultradźwiękowe są podstawowymi, najważniejszymi elementami składowymi w urządzeniach hydroakustycznych. Mają one najistotniejszy wpływ na jakość parametrów tych urządzeń. Obecny burzliwy rozwój hydroakustyki nastąpił w wyniku opracowania nowych technologii produkcji przetworników.

Pierwsze przetworniki ultradźwiękowe wykorzystywały zjawisko magnetostrykcji polegające na pobudzaniu niektórych materiałów magnetycznych (przeważnie stopów z niklem) do drgań pod wpływem zmiennego pola magnetycznego (przykładem mogą być głośniki lub słuchawki). Pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku stopniowo zaprzestawano stosowania tego typu przetworników. Od tej pory zaczęła się era przetworników ceramicznych, w których wykorzystywane jest zjawisko piezoelektryczności. Niektóre materiały ceramiczne lub ich stopy (spieki) mają właściwości piezoelektryczne.

Zjawisko piezoelektryczności polega na pobudzaniu do drgań takich materiałów ceramicznych pod wpływem zmiennego pola elektrycznego (pierwowzorem mogą być kryształy kwarcu). Sprawność energetyczna współczesnych przetworników ceramicznych jest bardzo wysoka, często wynosi ponad 70%. Zjawisko magnetostrykcji oraz zjawisko piezoelektryczności są odwracalne, tzn. że zachodzą także w kierunku odwrotnym. Pod wpływem zmiennego ciśnienia oddziaływującego na powierzchnię przetwornika, zaczyna on drgać powodując indukowanie się napięcia na jego uzwojeniu (w przypadku przetwornika magnetostrykcyjnego) lub na jego okładzinach (w przypadku przetwornika ceramicznego).

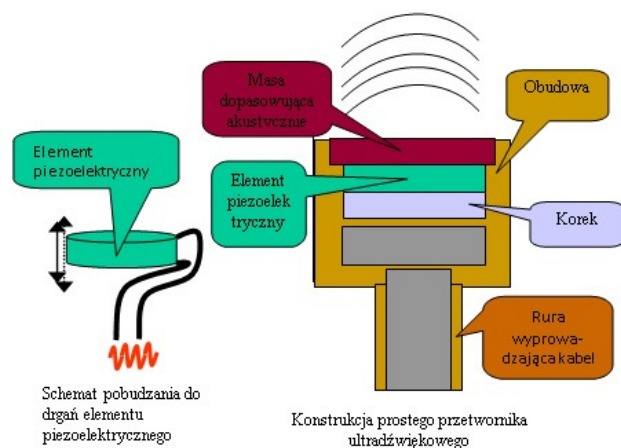
Energię akustyczną jaką wypromieniowuje przetwornik nadawczy określa się poprzez ciśnienie w dB jakie on wytworzy w odległości 1m od powierzchni promieniującej przetwornika po jego pobudzeniu i odnosi się ją w mierze logarytmicznej do $1\mu\text{P}$ (mikropascal) ciśnienia.

Czułość przetwornika odbiorczego określa się jako jego reakcję na ciśnienie w dB panujące napowierzchni odbiorczej tego przetwornika odniesione do ciśnienia $1\mu\text{P}$.

Wyjaśnienie miary logarytmicznej w hydroakustyce ma bardzo duże znaczenie ponieważ wszyscy producenci urządzeń hydroakustycznych podając parametry przetworników, mocy nadajników lub czułości odbiorników posługują się taką miarą.

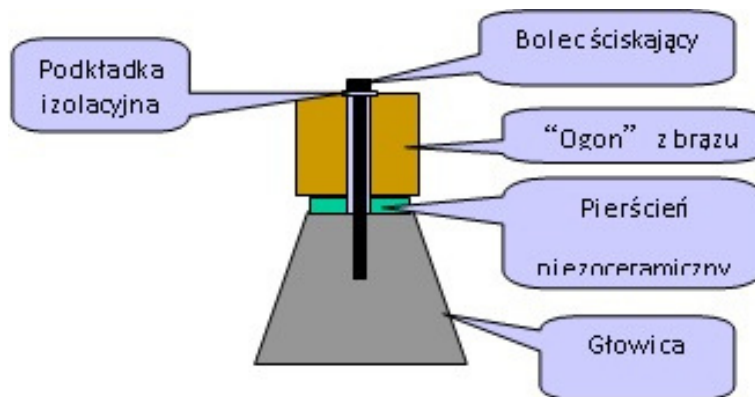
Konstrukcja przetworników

Podstawowym elementem przetwornika piezoelektrycznego jest element drgający wykonany z materiału ceramicznego powstającego w wyniku spiekania proszku ceramicznego z różnego rodzaju domieszkami. Aby taki element pobudzić do drgań należy umieścić go w polu elektrycznym poprzez doprowadzenia napięcia o częstotliwości pracy przetwornika. Element ceramiczny sam w sobie nie przewodzi prądu elektrycznego. W celu wytworzenia pola elektrycznego, na jego obu przeciwległych powierzchniach najczęściej napyłana jest warstwa bardzo cienkiej powłoki srebra, do której lutowane są końcówki kabla. W sytuacji, gdy przetwornik pełni rolę nadajnika fali akustycznej, do tych końcówek doprowadzane jest napięcie pobudzające do drgań podobnie jak w instalacji nagłaśniającej podłącza się głośnik. Jeśli przetwornik jest odbiornikiem fali akustycznej, końcówki te są podłączone na wejście wzmacniacza podobnie jak w instalacji nagłaśniającej podłącza się mikrofon. W większości urządzeń hydroakustycznych stosowanych obecnie w rybołówstwie stosowany jest jeden wspólny przetwornik wykorzystywany jako nadawczy i odbiorczy. Jest to możliwe ponieważ w takich urządzeniach zawsze zachodzi praca sekwencyjna. Najpierw jest wysyłany impuls nadawczy, a po jego wysłaniu następuje oczekiwanie na sygnały ech odbitych od obiektów podwodnych. Dlatego istnieje pewien okres czasu, w którym urządzenie zdąży zmienić swą konfigurację z nadawczej na odbiorczą.



Rys.1 Schematyczne przedstawienie konstrukcji przetwornika jednoelementowego

Nieobudowany element piezoelektryczny pobudzony do drgań w polu elektrycznym kurczy się i rozkurcza wytwarzając falę akustyczną w obu kierunkach. Jednak w rzeczywistości chodzi o to, aby promieniować falę akustyczną tylko w jednym pożądanym kierunku do wody. Producenci stosują różne techniki eliminowania promieniowania fali w kierunku przeciwnym do pożądanego. Realizowane jest to poprzez stosowanie materiałów tłumiących falę promieniowaną w kierunku przeciwnym (np. korek), bądź poprzez stosowanie odpowiednio dobranego materiału o grubości odpowiadającej połowie długości fali $l/2$ w celu całkowitego wykorzystania energii fali odbitej z kierunku przeciwnego do wzmocnienia fali w kierunku pożądanym. Przetwornik powinien zapewniać maksymalną sprawność tzn., że dostarczana do niego energia elektryczna nie powinna być tracona na ciepło w elementach konstrukcyjnych przetwornika, lecz w maksymalnym stopniu powinna być wypromieniowana do wody. Z praw fizyki wiadomo, że aby przekazać maksymalną ilość energii z jednego układu do drugiego, należy te dwa układy wzajemnie do siebie dopasować. W układach elektrycznych i elektronicznych jest to realizowane za pośrednictwem transformatorów. Podobnie zachodzi konieczność dopasowania impedancji falowej, jaką stanowią sobą drgający element piezoelektryczny i środowisko wodne. Rolę transformatora dopasowującego akustycznie przetwornik ultradźwiękowy do środowiska wodnego stanowi masa pośrednicząca pełniąca funkcję dopasowania akustycznego, znajdująca się pomiędzy powierzchnią elementu piezoelektrycznego przetwornika a przylegającą wodą. Przeważnie jest to rodzaj poliuretanu o odpowiednio dobranym składzie procentowym składników. Grubość tej masy także jest dobierana odpowiednio do długości fali akustycznej. W procesie produkcyjnym jest zachowana specjalna procedura technologiczna polegająca na zapewnieniu czystości i eliminacji pęcherzyków powietrza. Produkowane są często także przetworniki o bardziej złożonej, „kanapkowej” konstrukcji w których drgający element piezoceramiczny jest umieszczony pomiędzy dwiema masami różnych metali. Tylne części ma za zadanie wyeliminowanie promieniowania wstecznego, natomiast przednia służy do wypromieniowania fali akustycznej do wody.

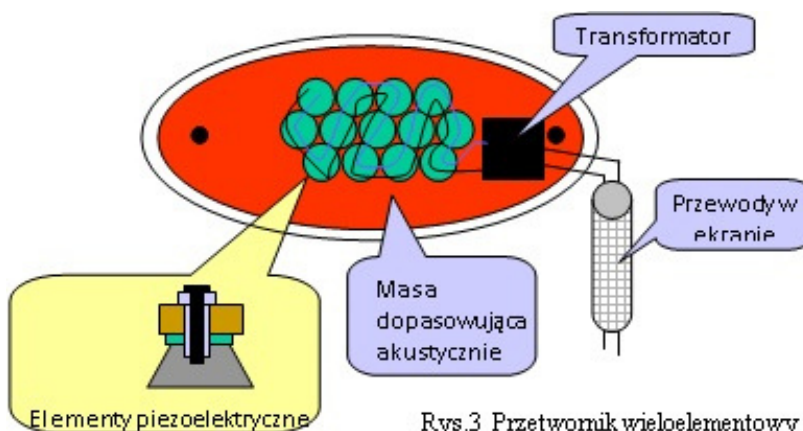


Rys. 2 „Kanapkowy” typ przetwornika ultradźwiękowego

Grubości elementów metalowych z brązu i z aluminium są dobrane do długości fali akustycznej. Proste przetworniki, składające się z pojedynczego elementu piezoceramicznego są coraz rzadziej spotykane w praktyce. Ma to miejsce jedynie w popularnych urządzeniach wędkarskich. Jednak w sprzęcie profesjonalnym najczęściej są stosowane przetworniki wieloelementowe, złożone z wielu pojedynczych elementów piezoceramicznych tworzących całą matrycę.

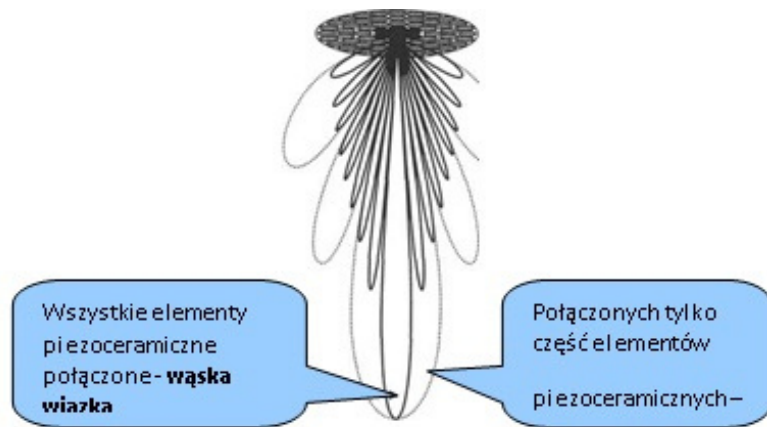
Przetworniki wieloelementowe

W zależności od sposobu ułożenia pojedynczych elementów można uzyskiwać wiązki akustyczne o dowolnych szerokościach kątów.



Rys.3 Przetwornik wieloelementowy

Przetworniki wieloelementowe często są wyposażane w transformator elektryczny dopasowujący wysoką impedancję połączonych elementów piezoceramicznych do impedancji kabla w ekranie. W zależności od sposobu wzajemnego łączenia pojedynczych elementów w przetworniku wieloelementowym można także zmieniać szerokości kątów promieniowanych wiązek akustycznych. Zgodnie z zasadą dualności dotyczącą przetworników ultradźwiękowych, szerokości kątów wiązki promieniowanej są jednocześnie szerokościami kątów w kierunku odbiorczym. W wyniku łączenia większej grupy przetworników uzyskuje się węższą wiązkę akustyczną. Zmniejszenie ilości połączonych przetworników spowoduje, że wiązka będzie szersza. Jednocześnie połączenie większej ilości pojedynczych elementów pozwala na dostarczenie większej mocy do przetwornika i wypromieniowanie większej mocy akustycznej do wody.



Rys.4 Zmiana szerokości wiązki akustycznej w zależności od ilości połączonych elementów piezoceramicznych

Każdy przetwornik oprócz swojego zakresu częstotliwości pracy cechuje się dopuszczalną mocą jaką można go pobudzać, czułością w kierunku odbiorczym oraz szerokością wiązki.

Typowe przetworniki ultradźwiękowe są elementami wąsko pasmowymi. Podczas odbioru impulsów fali akustycznej w wodzie największą czułość mają w pobliżu swojej częstotliwości rezonansowej odbiorczej. Podczas wysyłania impulsów fali akustycznej największą efektywność przekazywania energii do wody mają w pobliżu swojej częstotliwości rezonansowej nadawczej. Ponieważ te obie częstotliwości rezonansowe różnią się bardzo nieznacznie, najczęściej tylko o kilka Hz, producenci podają jedną częstotliwość pracy przetwornika. Charakterystyczną cechą przetworników jest ich dobroć oznaczana literą Q. Dobroć Q określa szerokość pasma przetworników ultradźwiękowych. Jest to stosunek częstotliwości rezonansowej do różnicy pomiędzy częstotliwością górną i dolną przy których wystąpi 3dB-owe obniżenie poziomu sygnału odebranego w stosunku do poziomu sygnału jaki uzyskuje się dla częstotliwości rezonansowej.

$Q = \text{Frez} / (F_g - F_d)$ Im wartość Q większa, tym pasmo przetwornika ultradźwiękowego jest węższe i odwrotnie. Typowa wartość Q przetworników zanurzonych w wodzie wynosi powyżej 7.

W nowoczesnych systemach hydroakustycznych, zwłaszcza w systemach wykorzystujących modulację częstotliwości (chirp) coraz częściej są stosowane przetworniki szerokopasmowe, które skutecznie pracują w szerokim zakresie częstotliwości. Dla takich przetworników wartość Q jest niska, może wynosić 2 - 3. W takich urządzeniach same przetworniki nie są układami filtrującymi. Współpracujące z nimi układy elektroniczne są bardziej wyrafinowane ponieważ muszą zapewnić dostateczny poziom sygnału użytecznego w stosunku do szumów i zakłóceń.

Kryteria doboru przetworników do echosond

W większości dostępnych na rynku echosond i sonarów koszt przetworników stanowi zwykle około 10% kosztu całego urządzenia. Jednak jakość pracy echosondy zależy niemal w 100% od jakości przetwornika. Tak, jak w urządzeniach radiokomunikacyjnych łączność zależy od jakości instalacji antenowej, tak działanie echosond czy sonarów zależy głównie od parametrów przetwornika. Obiegowa opinia, że wszystkie przetworniki na tę samą moc dają te same rezultaty na ekranie echosondy jest błędna. Różni producenci wytwarzają przetworniki o różnych impedancjach, stosując różne materiały piezoelektryczne, wykorzystują różne materiały na powlekanie elementów piezoceramicznych, nadają różne kształty i rozmiary. To wszystko ma ogromny wpływ na parametry przetworników.

W przetwornikach do zastosowań w rybołówstwie należy zwracać uwagę na:

- Częstotliwość pracy i szerokość pasma (dobroć Q)
- Szerokość wiązki akustycznej
- Odpowiedź akustyczna (czułość oraz moc akustyczna)
- Impedancja przetwornika
- Moc sygnału pobudzającego
- Minimalna odległość wykrywania

Zwykle cena odzwierciedla jakość przetwornika. Droższe przetworniki, stosowane w rybołówstwie zawsze charakteryzują się wyższym poziomem „odpowiedzi akustycznej” w porównaniu z przetwornikami stosowanymi w typowych echosondach jachtowych lub nawigacyjnych.

Większość niekomercyjnych połowów (połowy wędkarskie) jest prowadzona na płytkich akwenach, gdzie dominującym parametrem oprócz częstotliwości jest szerokość charakterystyki przetwornika. Im charakterystyka szersza tym obejmuje większą przestrzeń wody, lecz jednocześnie taki przetwornik może mieć mniejszą czułość, czyli niższy poziom „odpowiedzi akustycznej”. Na płytkich, wędkarskich akwenach może to nie mieć istotnego znaczenia. Jednak w rybołówstwie profesjonalnym, gdzie o sukcesie decyduje sprawność w wykrywaniu ławic ryb, stosowanie wysokiej jakości przetworników zdecydowanie obniża jednostkowe koszty połowów.

Częstotliwość pracy przetwornika i jej wpływ na zasięg

Częstotliwość pracy przetwornika ma zasadniczy wpływ na zasięg echosond i sonarów. Wynika to z właściwości fizycznych wody. Fale akustyczne o niskiej częstotliwości są mniej tłumione w wodzie i mogą się rozchodzić na większe odległości. Im częstotliwość fali akustycznej jest wyższa, tym tłumienie wody jest większe. Dlatego na wysokich częstotliwościach zasięgi sonarów są zdecydowanie mniejsze.



Rys. 5 Osiągany zasięg w zależności od częstotliwości

Tłumienie fali akustycznej w wodzie w pewnym przedziale częstotliwości jest w przybliżeniu proporcjonalne do kwadratu częstotliwości. To znaczy, że np. dwa identyczne sonary, o jednakowych szerokościach wiązek akustycznych lecz różniące się tylko tym, że jeden pracuje na częstotliwości dwukrotnie wyższej od drugiego, będzie miał zasięg około cztery razy mniejszy. Dlatego przetworniki na częstotliwości niższe (do 50 kHz) stosowane są w sonarach i echosondach pracujących na głębszych akwenach. Przetworniki na częstotliwości wysokie, (ponad 100 kHz) stosowane są przy połowach na małych głębokości. Z częstotliwością związana jest także minimalna odległość od powierzchni przetwornika, począwszy od której powstaje kierunkowana wiązka akustyczna. Odległość pomiędzy powierzchnią przetwornika a miejscem, w którym powstaje kierunkowa wiązka akustyczna jest zwana polem bliskim przetwornika. Długość pola bliskiego zależy od częstotliwości przetwornika oraz od jego wymiarów. Im niższa częstotliwość (dłuższa fala), tym pole bliskie jest krótsze i odwrotnie. Podobnie im wymiary przetwornika są większe, tym pole bliskie jest większe i odwrotnie. Pole bliskie charakteryzuje się tym, że ciśnienie akustyczne w różnych punktach tego pola jest trudne do jednoznacznego określenia i pomierzenia ponieważ czoło fali nie jest jeszcze uformowane do płaskiej powierzchni. Dlatego pomiary parametrów przetwornika powinny być przeprowadzane poza tym polem, czyli w tzw. polu dalekim.

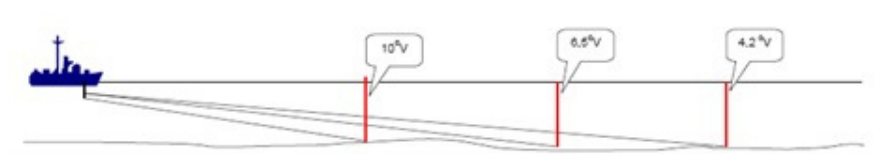
Szerokość charakterystyki kierunkowej

Szerokość listka głównego charakterystyki kierunkowej jest uzależniona od wymiarów geometrycznych powierzchni promieniującej przetwornika. Im powierzchnia promieniująca przetwornika jest większa, tym listek główny charakterystyki jest węższy i odwrotnie. Oprócz wymiarów geometrycznych przetwornika, na szerokość listka głównego charakterystyki ma wpływ także częstotliwość pracy. Przy dwóch przetwornikach o identycznych wymiarach powierzchni promieniujących, różniących się tylko częstotliwością pracy, listek główny charakterystyki przetwornika na wyższą częstotliwość jest tym węższy, im częstotliwość pracy jest wyższa i odwrotnie.

Wpływ szerokości charakterystyki przetwornika na zasięg sonaru

Przy tej samej mocy nadajnika przetworniki o węższej wiązce wypromieniują energię akustyczną na większą odległość niż przetworniki o szerszej wiązce. Wynika to z faktu, że na mniejszej powierzchni objętej węższą wiązką akustyczną energia impulsu akustycznego będzie bardziej skupiona, czyli będzie większa gęstość energii przypadająca na jednostkę powierzchni.

Zasięg echosond i sonarów jest także uzależniony od ich zdolności do odbioru sygnałów o niskich poziomach. W przetwornikach kształt wiązki odbiorczej niemal pokrywa się z kształtem wiązki nadawczej. Szerokość wiązki odbiorczej jest w taki sam sposób uzależniona od wymiarów geometrycznych przetwornika. Im wymiar przetwornika jest większy, tym wiązka jest węższa. Jednocześnie większa powierzchnia przetwornika pozwala na uzyskanie większej czułości podczas odbioru sygnałów akustycznych. Wynika to z faktu, że sygnał akustyczny pada na większą powierzchnię.



Rys. 6 Zasięg sonaru w zależności od szerokości wiązki akustycznej

Większa powierzchnia przetwornika pozwala na odbiór słabszych ech. Wąska wiązka jest korzystna w przypadku wykorzystywania sonarów na płytkich akwenach. Jednak wąska wiązka nie zawsze jest korzystna w echosondach rybackich. Szczególnie jest to istotne w przypadku połowów na małych głębokościach ponieważ wąska wiązka obejmuje stosunkowo małą objętość wody pod kadłubem kutra. Ryby lub ławice znajdujące się w toni w pobliżu kutra często mogłyby nie być objęte zbyt wąską wiązką i w rezultacie nie byłyby wykrywane dając szyprom fałszywe przeświadczenie, że w tym rejonie nie ma ryb.

Odpowiedź akustyczna

Odpowiedź akustyczna przetwornika jest jego cechą charakterystyczną określającą:

- zdolność do promieniowania energii akustycznej do wody (napięciowa odpowiedź nadawcza TVR Transmitting Voltage Response)
- zdolność do odbioru sygnałów echa akustycznego w odwrotnym kierunku (napięciowa odpowiedź odbiorcza RVR Receiving Voltage Response).

Obie cechy (odpowiedzi) dotyczą każdego przetwornika hydroakustycznego. Większość producentów przetworników posługuje się tymi parametrami, ponieważ są one bardzo przydatne przy porównywaniu przetworników oraz przy opracowywaniu nowych urządzeń.

Odpowiedź nadawcza TVR wyrażana jest w decybelach w odniesieniu do 1 μ Pa na 1V na 1m.

Przykładowo: „165dB re μ Pa/V at 1m” oznacza, że przy podaniu na przetwornik sygnału o napięciu szczytowym 1V, wypromieniuje on energię akustyczną do wody, która w odległości 1m od powierzchni przetwornika wytworzy maksymalne ciśnienie w wodzie o 165dB większe od ciśnienia 1 μ Pa.

Odpowiedź odbiorcza RVR wyrażana jest w decybelach w odniesieniu do 1V na 1 μ Pa.

Przykładowo: „-170dB re 1V per 1 μ Pa” oznacza, że dla wartości ciśnienia szczytowego 1 μ Pa wytworzonego tuż przy powierzchni przetwornika przez echo sygnału akustycznego w wodzie, przetwornik wygeneruje napięcie o wartości „-170 dB” w odniesieniu do poziomu napięcia 1V.

Przetwornik jest tym sprawniejszy energetycznie w kierunku nadawczym im będzie promieniować większą energię po przyłożeniu jednostkowego napięcia do końcówek kabla.

Przykładowo przetwornik o „odpowiedzi nadawczej” 165dB jest gorszy od przetwornika charakteryzującego się odpowiedzią nadawczą 170dB.

Przetwornik jest tym bardziej czuły w kierunku odbiorczym im większy poziom napięcia będzie generować na końcówkach kabla podczas przyłożonego jednostkowego ciśnienia akustycznego na jego powierzchni.

Przykładowo przetwornik o „odpowiedzi odbiorczej” -170dB jest lepszy od przetwornika charakteryzującego się odpowiedzią odbiorczą -180dB (znak minus jest istotny)

Jakość przetwornika określa się sumą jego „napięciowej odpowiedzi nadawczej” oraz „napięciowej odpowiedzi odbiorczej”. Im wynik sumy jest większy, tym przetwornik jest sprawniejszy energetycznie i bardziej czuły.

Przykładowo:

- dla przetwornika A o TVR = 165dB oraz RVR = -180dB, suma wynosi -15dB

- dla przetwornika B o TVR = 170dB oraz RVR = -170dB, suma wynosi 0dB

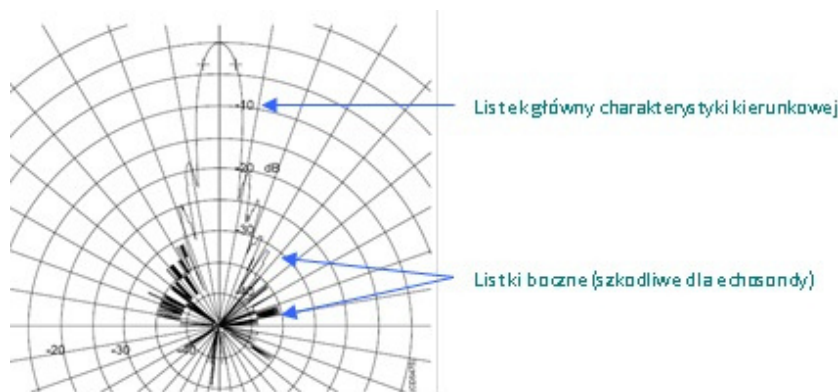
Stąd przetwornik B jest znacznie lepszy pod względem parametrów akustycznych od przetwornika A (znak minus jest istotny)

„Dzwonienie” przetwornika

Posługując się echosondą pracującą na niskiej częstotliwości na płytkim akwenu należy zwrócić uwagę na minimalną głębokość, jaka może być zmierzona. Zbyt długi impuls nadawczy przy niskiej częstotliwości może ograniczać pomiar na małych głębokościach. Długi impuls powoduje, że do przetwornika dostarczana jest duża energia. To powoduje, że mechaniczne drgania przetwornika wskutek jego bezwładności trwają jeszcze przez pewien czas, pomimo że pobudzenie impulsem elektrycznym już przestało działać na przetwornik. Zjawisko to powoduje, że faktyczna długość impulsu akustycznego wydłuża się. W związku z tym, przy stosowaniu długiego impulsu, na płytkiej wodzie mogą występować kłopoty z pomiarem głębokości. Podobnie wydłużający się impuls spowodowany drganiami bezwładnościowymi (niezależnie od głębokości) ma wpływ na ostrość echa od ryb na ekranie. Rozmyte, nieostre echa od ryb, szczególnie od ryb przydennych powstają m.in. wówczas, gdy występuje „dzwonienie” przetwornika. Zasadniczy wpływ na „dzwonienie” ma konstrukcja przetwornika oraz materiały, z których jest on wykonany.

Listki boczne

Charakterystyka (wiązka akustyczna) każdego przetwornika oprócz listka głównego, posiada także listki boczne. Listki boczne są znacznie mniejsze od głównego, jednak także promieniują energię i także odbierają echa ze swoich kierunków. Ponieważ energia, jaką promieniują listki boczne jest kilkadziesiąt lub kilkaset razy mniejsza od energii listka głównego, wprowadzane zakłócenia są odczuwalne tylko na małych głębokościach. Są to zakłócenia w postaci niepożądanych celów, fałszywego dna lub echa - „duchów” od ławic ryb odbieranych z fałszywych kierunków, ale prezentowane na ekranie echosondy tak, jak gdyby te cele występowały pod kadłubem kutra. Są to tzw. rewerberacje. Przetwornik jest tym lepszy, im mniejsze są listki boczne charakterystyki w stosunku do listka głównego.



Rys. 7 Przykład charakterystyki kierunkowej przetwornika

Impedancja przetwornika

Charakterystyczną cechą każdego przetwornika jest jego impedancja. Znajomość impedancji jest szczególnie ważna, gdy stosowany jest długi kabel. Impedancja przetwornika powinna być dopasowana do impedancji kabla (powinny być sobie równe). Wówczas są najlepsze warunki współpracy echosondy z przetwornikiem. Szczególnie jest to ważne w przypadku kablowych echosond sieciowych, ale nie tylko. Najczęstszymi przyczynami uszkodzeń nadajników echosond jest brak dopasowania impedancji przetwornika do impedancji kabla.

Zagadnienie dopasowania impedancji przetwornika do impedancji kabla w przypadku echosond jest analogiczne jak dopasowanie anteny radiostacji UKF do kabla antenowego czy też dopasowanie kabla anteny telewizyjnej do impedancji wejściowej odbiornika TV.

Echosondy rybackie produkowane przez uznane w świecie firmy posiadają przetworniki dopasowane do impedancji kabla za pomocą transformatorów. Transformatory przeważnie są umieszczone wewnątrz obudowy przetwornika, a wychodzący kabel jest wewnątrz połączony z transformatorem. Przetworniki, które nie posiadają fabrycznego transformatora dopasowującego z reguły są stosowane w niższej klasy echosondach rybackich lub w echosondach jachtowych.

Charakterystyczną cechą przetworników z transformatorem jest to, że mierzona oporność pomiędzy końcówkami kabla jest bardzo mała (z reguły poniżej 100Ω). Mierzona oporność przetworników bez transformatora dopasowującego wynosi zawsze co najmniej kilkadziesiąt lub kilkaset $k\Omega$.

Moc przetwornika

Parametr „moc przetwornika” podawany przez producentów jest to największa moc impulsu elektrycznego, jaką można zasilać przetwornik. Jest to moc impulsu elektrycznego, która nie uszkodzi przetwornika. Nie można jednak zasilać przetwornika sygnałem ciągłym o takiej mocy, ponieważ ulegnie on uszkodzeniu.

Moc promieniowana do wody zawsze jest pomniejszona o sprawność przetwornika. Sprawność współczesnych przetworników piezoelektrycznych zawiera się w przedziale 50 - 80%.

Na sprawność wypadkową przetwornika składa się sprawność elektryczna i sprawność akustyczna. Sprawność akustyczna przetworników zależy mocno od materiału, z którego zbudowane jest tzw. okno akustyczne (masa dopasowująca akustycznie). Jest to materiał pośredniczący pomiędzy elementem piezoelektrycznym a wodą. Stanowi on jednocześnie fizyczną osłonę elementu przetwornika wytwarzającego drgania mechaniczne oraz służy jako ośrodek dopasowujący impedancję akustyczną przetwornika do impedancji akustycznej wody. Przetworniki zbudowane z materiału osłaniającego lepiej dopasowanego pod względem akustycznym do wody mają wyższą sprawność. Przetworniki, których impedancja jest dopasowana do impedancji kabla przy pomocy transformatora zawsze wypromieniują do wody znacznie więcej energii niż przetworniki bez dopasowania. Dla sygnałów w kierunku odbiorczym transformator nie ma istotnego znaczenia.

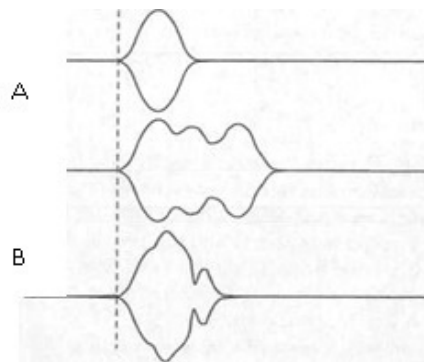
Współczynnik kierunkowości przetwornika

Współczynnik kierunkowości przetwornika oznaczany jest jako DI (directivity index). Określa on w mierze logarytmicznej (w dB) ile razy sygnał wysyłany przez przetwornik kierunkowy (w kierunku jego maksymalnego promieniowania) będzie większy w porównaniu do przetwornika promieniującego bezkierunkowo (o dookolnej, bezkierunkowej charakterystyce promieniowania) zasilanego taką samą mocą sygnału jak przetwornik o charakterystyce kierunkowej. Przetwornik promieniujący falę akustyczną dookoła (w kącie 360°) z jednakowym natężeniem we wszystkich kierunkach posiada $DI = 0dB$.

SYSTEMY MODULACJI IMPULSÓW W ECHOSONDACH

Modulacja CW (continuous wave lub continuous waveform)

W większości dotychczasowych produkowanych echosond rybackich stosowany jest system modulacji CW. Modulacja CW polega na wysłaniu przez nadajnik echosondy w równych odstępach czasu impulsów o stałej częstotliwości i stałej amplitudzie. Tak uformowane w nadajniku elektryczne impulsy nadawcze o stałej amplitudzie i częstotliwości są przekazywane do przetwornika ultradźwiękowego, który wysyła je jako impulsy fali akustycznej (mechanicznej) do wody. Z powodu posiadania swojej masy przetwornik posiada pewną bezwładność i reaguje z opóźnieniem na pobudzenie polem elektrycznym. To powoduje, że kształt obwiedni impulsów akustycznych w wodzie, wskutek bezwładności przetwornika różni się nieco od kształtu obwiedni impulsów pola elektrycznego, które pobudza przetwornik. Głównie czas narastania obwiedni impulsu akustycznego znacznie różni się od czasu narastania impulsu elektrycznego.

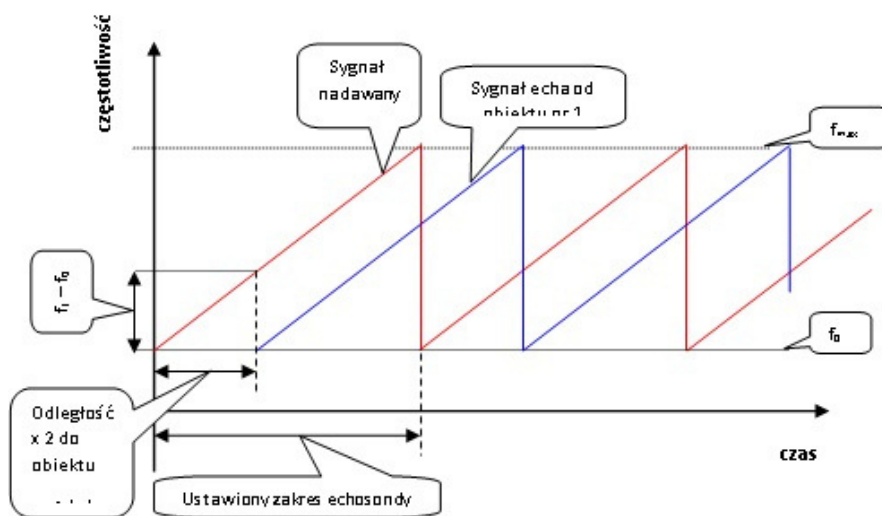


Rys.8 A – obwiednia impulsu akustycznego w wodzie, B, C obwiednia impulsów ech

Na dalszej drodze propagacji, aż do poszukiwanego obiektu w wodzie i odbiciu od tego obiektu kształt obwiedni impulsu akustycznego podlega dodatkowym zniekształceniom. Ponieważ dokładność pomiaru odległości w wodzie silnie zależy od dokładności pomiaru czasu przelotu impulsu od momentu jego wystąpienia do momentu odbioru sygnału echa, zniekształcenie obwiedni impulsu (zwłaszcza zniekształcenie czasu narastania czoła obwiedni) ma istotny wpływ na dokładność końcowego wyniku. Konstruktorzy i programiści pracujący nad zwiększeniem dokładności pomiaru oraz nad poprawą ostrości i wyrazistości echogramów w echosondach stosujących modulację CW stosują różnego rodzaju metody dające pożądane, korzystne rezultaty. Jednak wyraźną poprawę dokładności pomiaru oraz wyrazistości echogramu umożliwiającą uzyskanie zdecydowanie większej rozdzielczości obiektów (ryb w ławicach lub ryb przydennych) można uzyskać w echosondach stosujących modulację częstotliwości FM tzw. CHIRP. Ten rodzaj modulacji zastosowany jest między innymi w echosondzie Kongsberg Simrad ES80.

Modulacja FM (chirp)

We współczesnych echosondach, szczególnie hydrograficznych, służących do precyzyjnych pomiarów głębokości dna (w celu sporządzania dokładnych map batymetrycznych) często jest stosowana inna metoda pomiaru odległości. Jest to metoda polegająca na wysyłaniu bardzo długich impulsów o liniowo modulowanej częstotliwości i porównywaniu częstotliwości w sygnale odbieranego echa z częstotliwością sygnału wysydanego. Liniowa modulacja częstotliwości polega na zmianie częstotliwości sygnału wysydanego do wody przez przetwornik od wartości f_0 na początku impulsu, do wartości f_{max} na końcu impulsu. Ze względu na liniową zmianę częstotliwości sygnału nadawczego w szerokim zakresie, często nawet w granicach setek kHz metoda ta wymaga stosowania szerokopasmowych przetworników ultradźwiękowych, które będą zdolne do emitowania fali akustycznej w tak szerokim zakresie częstotliwości. W takich systemach nie zachodzi konieczność wyznaczenia momentu czasu, w którym czoło impulsu echa dotarło do przetwornika, dlatego są one dokładniejsze od systemów impulsowych. W systemach „chirp” nadajnik wysyła ciągłą falę akustyczną o liniowo modulowanej częstotliwości w zakresie od f_0 do f_{max} . Napotkawszy obiekt podwodny, fala odbija się i wraca jako sygnał echa do odbiornika w momencie, gdy nadajnik już wysyła częstotliwość f_1 . W echosondzie, w wyniku porównania dwóch częstotliwości, uzyskuje się różnicę $f_1 - f_0$ odpowiadającą podwójnej odległości do obiektu, podobnie jak w systemach impulsowych. Najczęściej systemy chirp stosowane są w systemach hydrograficznych służących do pomiarów celów nieruchomych, takich jak dno lub innych związanych z infrastrukturą podwodną jak boczne sonary holowane.



Rys.9 Zasada pomiaru odległości z wykorzystaniem metody modulacji częstotliwości (chirp)

Ze względu na bardzo rozbudowane układy odróżniania wielkości sygnału echa w systemach z modulacją „chirp” do zastosowań rybackich, niewiele firm dotychczas opanowało tą technikę. Jednak ze względu na to, że efekty uzyskiwane z wykorzystania tej modulacji znacznie przewyższają możliwości tradycyjnych echosond z modulacją CW, można spodziewać się rozwoju techniki „chirp”. Jednym z prekursorów stosujących tę metodę w zastosowaniach rybackich jest firma Kongsberg Simrad. Przykładem są tu echosondy rybackie Simrad ES80 oraz echosondy do zastosowań naukowych Simrad EK80.