

ОПРЕДЕЛЯНЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО НА ПОДВОДЕН ОБЕКТ С ПОМОЩТА НА МНОГОПОЗИЦИОННА ХИДРОАКУСТИЧНА СИСТЕМА

Петър Владимиров Иванов, Николай Желев Колев

ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, Варна

e-mail: ivanov5ar@abv.bg, e-mail: nzkolev@abv.bg

1. Въведение.

Търсенето, откриването и проследяването на подводни обекти е изключително важна задача, която се решава с помощта на различни хидроакустични средства. В зависимост от начина си на действие те се делят на две основни групи – активни и пасивни. Активните хидроакустични средства работят, като излъчват звуков сигнал с определени параметри в околното пространство и приемат отразените от подводните обекти ехосигнали. При пасивните средства имаме приемане характерните за даден подводен обект звуци и шумове, които се излъчват от него и се разпространяват във водата. Всяка група има своите предимства и недостатъци. За търсене, откриване и проследяване на подводни обекти често се използват хидроакустични устройства работещи в активен режим. Предимството на този режим е това, че се използва сигнал с предварително известни параметри и лесно се създава оптимален приемник за ехосигналите. Недостатъкът му е наличието на реверберационно смущение, което е силно изявено в приповърхностния слой на морската среда и може да прикрие слаб ехосигнал. При пасивните системи реверберацията на средата не оказва влияние, защото няма излъчване. Но предварително не е известен търсеният сигнал и това създава трудности с неговото откриване. Затова се търсят начини тези недостатъци да бъдат избегнати. Тези причини налагат разработването на многопозиционни системи, които да съчетават предимствата на активните и пасивните системи. Тези системи имат излъчвател, който е разположен на определено разстояние от приемниците. Така се намаляват реверберационните смущения. Приемниците работят като оптимална пасивна система защото сигнала, който трябва да бъде открит е предварително известен. Така се увеличава енергетичната далечина на действие на хидроакустичната система и позволява да се откриват слаби ехосигнали. Освен това такава система може да бъде използвана и в пасивен режим, като се променят единствено алгоритмите за откриване и обработка на приетите сигнали.

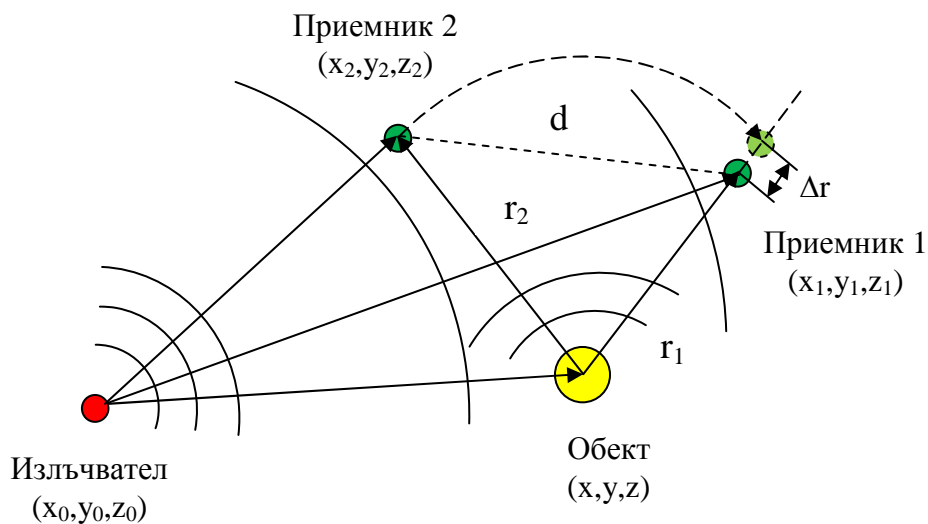
2. Определяне местоположението на обект, отразяващ излъчения импулсен акустически сигнал от излъчвателя

За да се определи какво акустично поле се създава в точките на приемане на сигнала първо трябва да се зададат условията на които трябва да отговаря средата в която се разпространява звука. Приема се, че средата е безгранична и изотропна. В нея се разпространяват само преки вълни, излъчени от източника на звук и няма отражения от граници или други обекти. Също така параметрите на средата са постоянни във всички точки и не се променят във времето. Това означава, че скоростта на звука е постоянна величина и не влияе на разпространението на звука. Излъченият от източника звуков сигнал е импулсен с определена продължителност и честота и е ненасочен в пространството.

Подводния обект е неподвижен и преизлъчва звуковия сигнал равномерно във всички посоки. Може да бъде заменен от ненасочен акустичен източник излъчващ сферични звукови

вълни. Приема се, че обекта е открит и са определени времената на пристигане на отразените от него сигнали. Определени са и нивата на акустичното налягане на тези сигнали във всяка точка на приемане.

Излъченият от източника звуков сигнал се разпространява в средата като сферична вълна със скорост c и попада на приемник 1 и приемник 2 в различни моменти от време. В общия случай разстоянията, които изминава този сигнал до двата приемника са различни. Този сигнал достига и до обекта и се преизлъчва, когато той се намира в близост до излъчвателя и приемниците. Преизлъченият от обекта звуков сигнал също се разпространява в средата по сферичен закон и попада на двата приемника в различни моменти от време, защото разстоянията от обекта до приемниците са произволни. В приемниците първо достига прекият сигнал от излъчвателя, а след това отразеният сигнал от обекта. Местоположението на източника и приемниците на звук са известни предварително, а това на обекта – не. Координатите на източника на звук са (x_0, y_0, z_0) , на приемник 1 – (x_1, y_1, z_1) , на приемник 2 – (x_2, y_2, z_2) и на подводния обект – (x, y, z) .



Фиг. 1. Схематично представяне начина на определяне местоположението на обекта.

Може да се приеме, че обекта е източник на звуков сигнал и да се определи какво разстояние изминава този сигнал до всеки приемник поотделно, а също така и разликата между тези разстояния с помощта на следните съотношения:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

$$r_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} \quad (2)$$

$$r_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} \quad (3)$$

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (4)$$

където d е разстоянието между двата приемника, r_1 е разстоянието между обекта и приемник 1, r_2 е разстоянието между обекта и приемник 2, а Δr е разликата между разстоянията от обекта до двата приемника.

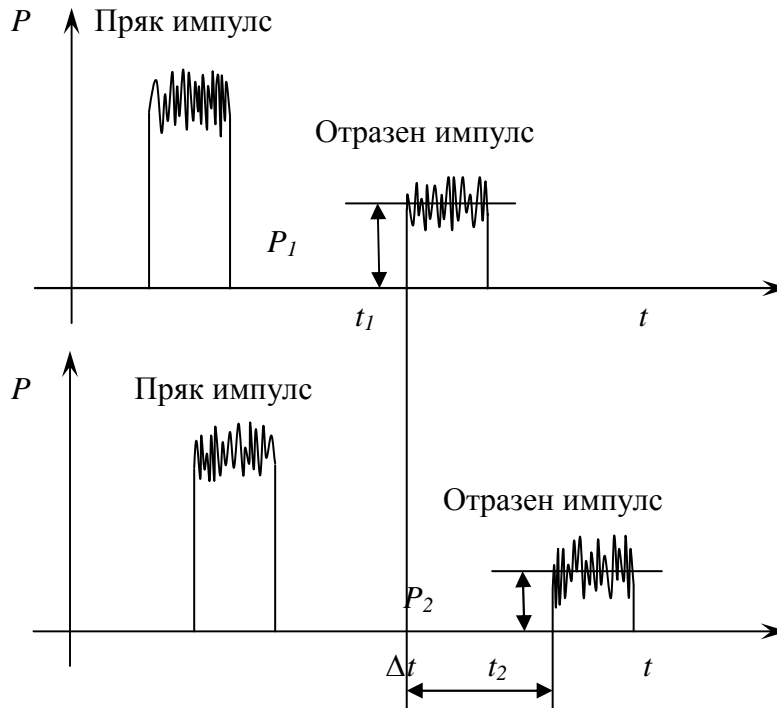
Преките сигнали от излъчвателя, които постъпват в приемниците се игнорират. Разликите във времената се определят от сигналите, които пристигат след това. Определяйки разликата във времето с която сигналът приет от втория приемник закъснява спрямо сигнала приет от първия приемник, може да се определи разликата между изминатите разстояния:

$$r_1 = ct_1 \quad (5)$$

$$r_2 = ct_2 \quad (6)$$

$$\Delta r = r_2 - r_1 = c(t_2 - t_1) = c\Delta t \quad (7)$$

където t_1 е времето за което звуковият сигнал от обекта достига до приемник 1, t_2 е времето за което звуковият сигнал от обекта достига до приемник 2, Δt е разликата между тези времена, а c е скоростта на разпространение на звука във водна среда.



Фиг. 2. Схематично представяне начина на определяне времезакъснението и нивата на сигналите.

В действителност местоположението на обекта не е известно и моментът на произлъчване на сигнала не може да бъде определен. Разстоянията от обекта до приемниците също не са известни и времената за разпространение на сигнала също не могат да бъдат установени. Може да се определи само разликата между времената на приемане на отразените сигнали Δt и съответно разликата между разстоянията Δr .

За определяне на разстоянията от обекта до приемниците ще бъдат използвани разликата между тези разстояния Δr и свойството на сферичните вълни да намаляват своята амплитуда с увеличаване на разстоянието.

Изразът, който описва звуковото налягане на сферична хармонична вълна има вида:

$$p(t, r) = \frac{P}{r} e^{i(\omega t - kr)} = \frac{P}{r} e^{i\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)} \quad (8)$$

където $p(t, r)$ е звуковото налягане, което се създава в определена точка на пространството и зависи от времето t и разстоянието r от източника на звук, P е максималната амплитуда на налягането на разстояние $r=1m$ от този източник ($P=p_{max}(r=1)$), ω е кръговата честота, а k е вълновото число. Кръговата честота и вълновото число се определят с помощта на изразите (9) и (10):

$$\omega = 2\pi f \quad (9)$$

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (10)$$

където f е честотата на сигнала, T е неговия период, а λ е дължината на вълната.

От (8) се вижда, че амплитудата на звуковото налягане зависи от разстоянието между точката на излъчване и точката на приемане, като намалява пропорционално на това разстояние.

Звуковите налягания в две различни точки на полето могат да бъдат представени по следният начин:

$$p_1(t, r) = p(t, r_1) = \frac{P}{r_1} e^{i\omega\left(t - \frac{r_1}{c}\right)} = P_1 e^{i\omega\left(t - \frac{r_1}{c}\right)} \quad (11)$$

$$p_2(t, r) = p(t, r_2) = \frac{P}{r_2} e^{i\omega\left(t - \frac{r_2}{c}\right)} = P_2 e^{i\omega\left(t - \frac{r_2}{c}\right)} \quad (12)$$

Приемаме, че приемник 1 е основен и спрямо него ще се отчитат разстоянията и времезакъсненията. Заместваме r_2 с $(r_1 + \Delta r)$ и вземаме само амплитудните части на уравненията:

$$p_2(t, r) = p(t, r_2) = \frac{P}{(r_1 + \Delta r)} e^{i\omega\left(t - \frac{r_1 + \Delta r}{c}\right)} = P_2 e^{i\omega\left(t - \frac{r_1 + \Delta r}{c}\right)} \quad (13)$$

$$P_1 = \frac{P}{r_1} \quad (14)$$

$$P_2 = \frac{P}{r_2} = \frac{P}{r_1 + \Delta r} \quad (15)$$

където P_1 и P_2 са амплитудите на звуковото налягане на сигнала в точките на приемане.

Преобразуваме изрази (14) и (15):

$$r_1 = \frac{P}{P_1} \quad (16)$$

$$(r_1 + \Delta r) = \frac{P}{P_2} \quad (17)$$

След извършване на математически преобразувания се получава окончателния израз за определяне на разстоянието от обекта до първия приемник:

$$r_1 = \frac{\Delta r}{\frac{P_1}{P_2} - 1} \quad (18)$$

Разстоянието до втория приемник ще бъде:

$$r_2 = r_1 + \Delta r \quad (19)$$

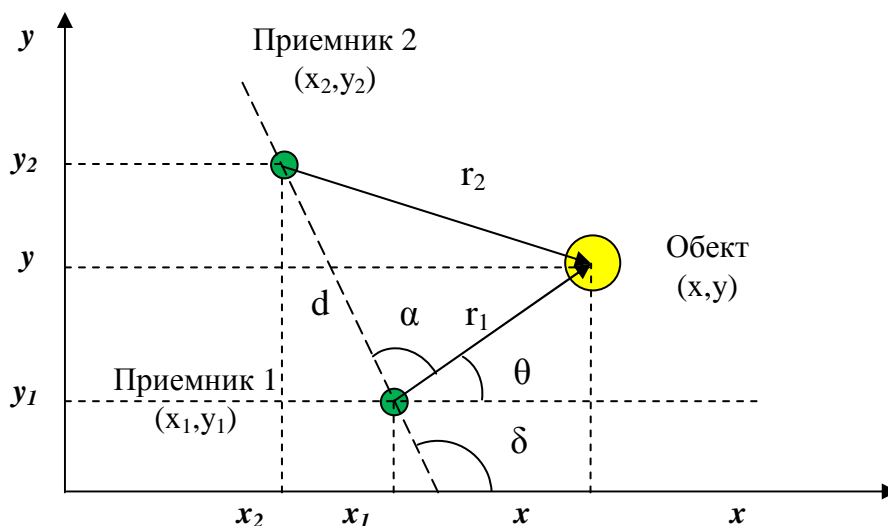
Израз (18) определя разстоянието от обекта до първия приемник в зависимост от разликата между разстоянията от този обект до двата приемника и отношението между звуковите налягания на сигнала постъпващ в тези приемници. По такъв начин определяйки чрез измерване Δt , P_1 и P_2 и използване на изразите (7), (18) и (19) може да определят разстоянията от обекта до двата приемника r_1 и r_2 . Когато се знаят тези разстояния, местоположенията на приемниците и се използва израз за решаване на триъгълник от [1]

лесно може да се установи местоположението на обекта който търсим. Първо се намира ъгълът α между линията преминаваща през двата приемника и линията преминаваща през първи приемник и обекта, като се използва съотношението:

$$\alpha = \arccos \frac{r_1^2 + d^2 - r_2^2}{2r_1 d} \quad (20)$$

където d е разстоянието между приемниците.

С цел представяне на получените зависимости ще бъде използвана двумерна координатна система построена в равнината преминаваща през двата приемника и обекта.



Фиг. 3. Начин на определяне местоположението на обекта при двукоординатна система.

Определяме ъгъла δ между правата минаваща през приемниците и оста x на координатната система:

$$\cos \delta = \frac{\Delta x}{d} \quad (23)$$

$$\delta = \arccos \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (24)$$

След това се определя ъгъла θ между линията първи приемник – обект и оста x на координатната система:

$$\theta = \delta - \alpha \quad (25)$$

Окончателно се получават изразите за координатите на обекта (x, y) :

$$x = x_1 + r_1 \cos \theta \quad (26)$$

$$y = y_1 + r_1 \sin \theta \quad (27)$$

По такъв начин може да се определи местоположението на обект, като се измерят точно времезакъснението на сигналите и амплитудите на акустичното налягане от два отдалечени помежду си приемника.

3. Изводи

След анализ на получените резултати могат да се направят следните заключения:

1. Измервайки точно времезакъснението между сигналите и тяхното ниво може лесно да се определи местоположението на обект, който излъчва или преотразява звукови сигнали.

2. Когато обекта се намира на еднакво разстояние от два приемника, тогава се получава неопределеност и не може да се определи неговото местоположение. Затова трябва да има няколко приемника, които да формират различни двойки за да може тази неопределеност да се избегне.

3. Винаги, когато се определят координатите е възможно да се получи нееднозначност поради симетрия. Използването на няколко приемника, които да работят по двойки ще спомогнат координатите на обекта да се определят еднозначно.

4. Методът е приложим в случаите, когато обекта разсейва сигнала равномерно във всички посоки. Това зависи основно от работната честота на многопозиционната система и размера на обекта.

5. Методът може да се използва и в пасивна многопозиционна хидроакустична система, като се използва корелационна обработка на приетите сигнали.

На практика използването на една двойка приемници не може да се определи местоположението на обекта, защото в тримерна координатна система то ще бъде окръжност, отдалечена на определено разстояние от тези приемници. Затова е необходимо е да се формират още двойки приемници за да може да се намери еднозначно решение на тази задача. Приемник 1 и приемник 2 могат да участват и в групи с други приемници. По този начин може да се увеличи броя на групите без да се увеличава значително броя на приемниците. Например три приемника могат да формират три групи, четири приемника – шест групи и т.н.

Това изследване показва, че е възможно да се определи местоположението на обект с помощта на многопозиционна хидроакустична система, като се измерват времената на пристигане на сигналите и нивата на акустичното налягане на тези сигнали в различни точки на приемане. Този метод е приложим и за активните, и за пасивните системи.

Използвана литература:

1. Б р о н ш т е й н И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
2. Б у р д и к В. С. Анализ гидроакустических систем/ Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1988.
3. И в а н о в П., Колев Н. Изследване влиянието на подвижен обект върху изменението на звуковото поле в еднородна полубезгранична среда. Национална конференция “Акустика 2009”, Брой 11, Декември 2009 г., стр. 88 – 93.
4. К о л е в Н., Калоянчев П., Илиев И., Иванов П., Мултистатична система за подводно наблюдение. Пета международна конференция “Хемус 2010”, Сборник с доклади, стр. 245 – 254.
5. С в е р д л и н Г. М. Прикладная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1990.
6. У р и к Р. Дж. Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1978.
7. С о о н А., Spatial Correlation of Detections for Impulsive Echo Ranging Sonar. Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 18, Number 1, 1997.
8. К i n s l e r L. E., Frey A. R. Fundamentals of Acoustics, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.
9. К о л е в N., Ivanov P., Kaloyanchev P., Multistatic sonar pulse signals time delay estimation. Journal of Marine Technology and Environment, Vol. I, 2010, pp.169 – 180.