

	<h1>АКУСТИКА</h1> <p>Национална конференция “Акустика 2009”</p>	<p>Варна 09- 10.10.2009 г.</p> <p>София 04 - 05.12.2009 г.</p>
Година XI	□ Брой 11	Декември 2009 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ПОДВИЖЕН ОБЕКТ ВЪРХУ ИЗМЕНЕНИЕТО НА ЗВУКОВОТО ПОЛЕ В ЕДНОРОДНА ПОЛУБЕЗГРАНИЧНА СРЕДА

П. Иванов, Н. Колев
ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, Варна

1. Въведение

Откриването и проследяването на подводен обект е важна задача, която се решава с помощта на хидроакустиката. В зависимост от това, какви характеристики притежава обекта, се определят и начините по които ще се решава тя. В последно време интерес представлява задачата по търсенето на малоразмерни и малошумящи цели и определяне на параметрите на тяхното движение. Това е свързано с повишената заплаха от проникването на подводни пловци и малки подводни апарати в пристанища и други морски и речни съоръжения. Става въпрос за търсене, откриване и съпровождане на малоразмерни подводни обекти, които имат малка отразяваща повърхност, малък собствен шум и се намират близо до повърхността. Именно затова се налага да се търсят нови методи, различни от използваните досега.

За откриване и проследяване на подводни обекти се прилагат два основни метода – активен и пасивен. При пасивните методи имаме приемане на собствените шумове които се излъчват от даден подводен обект. При активните методи се излъчва звукова енергия в околното пространство и се приема отразения от подводния обект сигнал. Активните системи биват: моностатични – когато излъчвателя и приемника са разположени в една точка на пространството; бистатични – когато излъчвателя и приемника са разположени в различни точки на пространството и мултистатични – когато имаме цяла система от излъчватели и приемници разположени в различни точки на пространството и които работят съвместно.

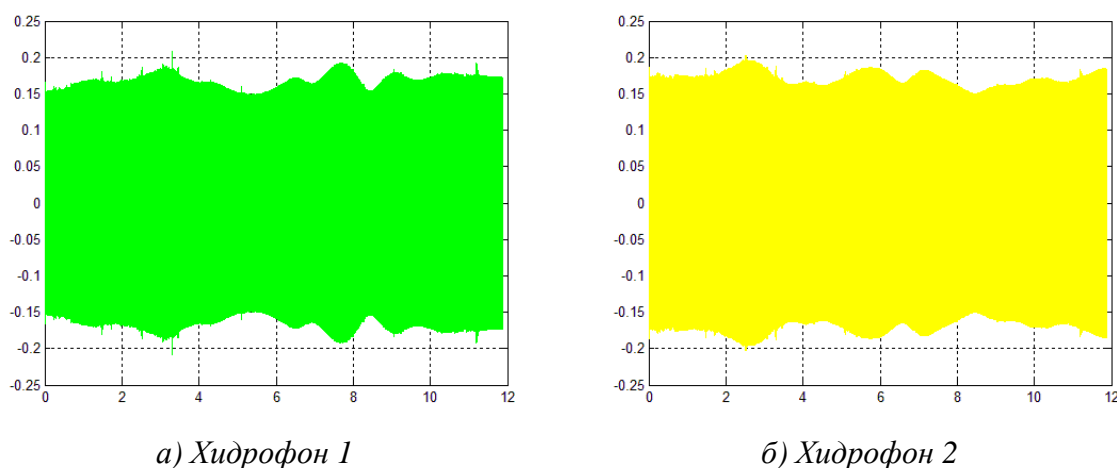
Съвременното развитие на микроелектрониката, схемотехниката и методите за цифрова обработка на сигнали създава условия за разработване на сравнително евтини устройства, които да могат да решават различни по своята сложност задачи. Това позволява да бъдат създадени мултистатични сензорни мрежи съставени от множество компоненти, които да решават задачата по откриване, опознаване и проследяване на малоразмерни подвижни цели. За целта е необходимо да се създаде математически модел и алгоритъм за използването му, който може да бъде приложен при създаването на такива мрежи. Този математически модел трябва да не бъде сложен но да бъде ефективен за да може бързо да взема еднозначно решение с висока степен на достоверност.

В проведенния експеримент се изследва влиянието, което оказва подвижен подводен обект на акустическото поле създадено от точков източник на звук в полубезгранична еднородна среда, като се отчита влиянието на границата вода - въздух.

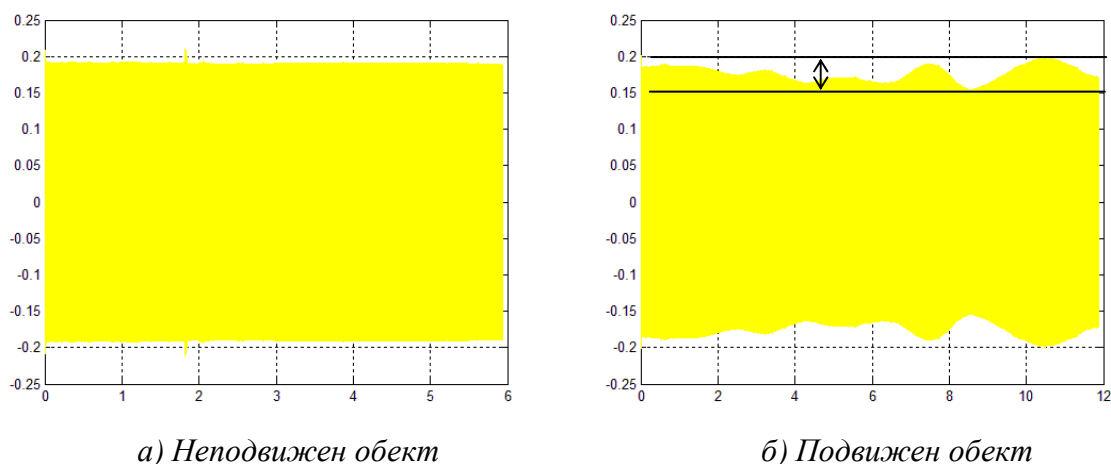
2. Изследване влиянието на подвижен обект върху изменението на звуковото поле в еднородна полубезгранична среда

С цел изучаване на влиянието, което оказва подвижен обект на звуковото поле на точков източник бе проведен експеримент в измервателен басейн с време на реверберация $T_{60} = 0,095$ s. Като за източник на звук бе използван неподвижен ненасочен излъчвател с координати $(X_0=0$ m; $Y_0=0$ m; $Z_0=1,25$ m). Началото на координатната система бе установено в точка над излъчвателя на границата вода – въздух. Приемниците на звук бяха разположени на разстояние $L_1 = 1,90$ m и $L_2 = 3,25$ m от излъчвателя в точки с координати $(X_1=1,90$ m; $Y_1=0$ m; $Z_1=1,25$ m) и $(X_2=3,25$ m; $Y_2=0$ m; $Z_2=1,25$ m). Движението на обекта бе по права линия успоредна на оста X от точка 1 с координати $(X_{31}=1,90$ m; $Y_3=0,85$ m; $Z_3=1$ m) до точка 2 с координати $(X_{32}=0,10$ m; $Y_3=0,85$ m; $Z_3=1$ m) и със скорост от 0 до 2 m/s. За създаване на акустичното поле бе използван еднотонален звуков източник с честота $f = 5$ kHz и продължителност от 5 до 15 s.

Експериментът бе проведен многократно. Бяха наблюдавани значителни изменения на звуковото поле в зависимост от движението на обекта (фиг. 1). При контролните измервания, когато обекта бе неподвижен, акустичното поле не се променяше (фиг. 2).



Фиг. 1. Изменение нивото на звуковото поле когато обектът се движи



Фиг. 2. Ниво на звуковото поле когато обектът е неподвижен (а) и когато се движи (б)

На базата на проведените измервания бе разработен математически модел на акустичното поле на точков източник на звук в полубезгранична еднородна среда, когато в

него има подвижен обект. Средата се приема за полубезгранична, защото има само една граница, която не пропуска звук през себе си. Условието в измервателния басейн съответстват на това изискване.

Точковият източник създава акустически вълни, които се разпространяват по сферичен закон. Уравнението с което се описва звуковото налягане $p(t,r)$ на сферична периодична вълна им вида

$$p(t,r) = \frac{P_{\max}}{r} e^{i(\omega t - kr)} \quad (1)$$

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

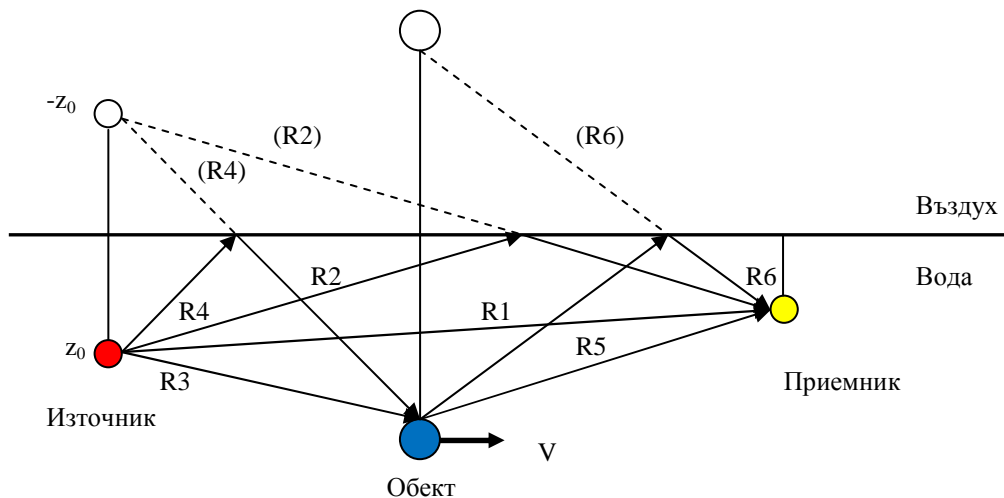
където: $P_{\max} = P(r=l)$ е звуковото налягане на разстояние l m от акустическия център на излъчвателя; r е разстоянието от източника до точката на наблюдение; $\omega = 2\pi f$ е кръговата честота; k е вълновото число; c е скоростта на звука (за вода $c = 1500$ m/s); λ е дължината на вълната.

Когато координатите на точката на излъчване и точката на наблюдение (на приемника) са зададени в декартови координати във вида (x, y, z) , то разстоянието r между тях се определя по формулата

$$r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \quad (3)$$

където (x_0, y_0, z_0) са координатите на източника, а (x_1, y_1, z_1) – на приемника

За начална дълбочина $z = 0$ бе приета границата вода – въздух, а за положителна посока – увеличаването на дълбочината. Когато имаме отразен от граничната повърхност сигнал използваме т. нар. „мними източници”. Мнимите източници се добавят за да се удовлетворят граничните условия и са разположени симетрично на действителните спрямо тази граница. Техните координати придобиват вида $(x_i, y_i, -z_i)$, т. е. координатата на реалния източник z_i се заменя с $-z_i$. Начинът по който се представя лъчевата картина е показан на фиг. 3.



фиг. 3. Схематично представяне на лъчевата картина на преките и отразените сигнали

Акустическият импеданс на водата е много по-голям от този на въздуха и затова се приема, че границата вода – въздух е „акустически мека“, т. е. звуковото налягане на самата граница е $p(t, x, y, (z=0)) \approx 0$. Тази граница на практика не пропуска звук от водата към въздуха. Тя предизвиква почти пълно отражение на акустическите сигнали обратно към водата, като им променя фазата на 180° . Затова е прието коефициента на отражение на границата вода – въздух да бъде $V = -1$.

Акустическото поле в точката на наблюдение представлява суперпозиция на две вълни – пряка и отразена, които се различават по фазата, с която пристигат и в общия случай и по своя интензитет.

$$p(t, r) = p_1(t, r_1) + p(t, r_2) = \frac{A}{r_1} e^{i(\omega t - kr_1)} + V \frac{A}{r_2} e^{i(\omega t - kr_2)} \quad (4)$$

За малките разстояния в измервателния басейн бе прието, че интензитета на акустическите вълни не се променя съществено от разстоянието, т. е. $r_1 \approx r_2 = l$. Но за фазата това условие е неприемливо.

$$p(t, r) = A e^{i(\omega t - kr_1)} - A e^{i(\omega t - kr_2)} = A e^{i\omega t} (e^{-ikr_1} - e^{-ikr_2}) \quad (5)$$

където:

$$r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \quad (6)$$

$$r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 + z_0)^2} \quad (7)$$

Посъщият начин бе определено и акустическото поле в точката в която се намира обекта. Поради малките си линейни размери спрямо дължината на вълната, обекта бе представен като твърда сфера с радиус R , която разсейва ненасочено падащия върху нея звук. Тази сфера бе използвана като модел на вторичен точков източник на звук. За моностатична система е справедливо съотношението между звуковите налягания на падащата и отразената вълни.

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{R}{2r} \quad (8)$$

където p_r е звуковото налягане на отразената вълна; p_i е звуковото налягане на падащата вълна; R е еквивалентния радиус на твърдата сфера, а r е разстоянието от източника на звук до сферата [4, 6].

Използвайки този израз за определяне на отразеното звуково налягане от обекта, представен като еквивалентна твърда сфера с радиус R , бе установено, че резултатите от математическия модел не съвпадат с тези от реалните измервания. Това наложи този израз да бъде променен за да може да се прилага и за бистатична система.

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{R}{(r_1 + r_2)} = K \quad (9)$$

където r_1 е разстоянието от източника на звук до обекта, а r_2 е разстоянието от обекта до приемника.

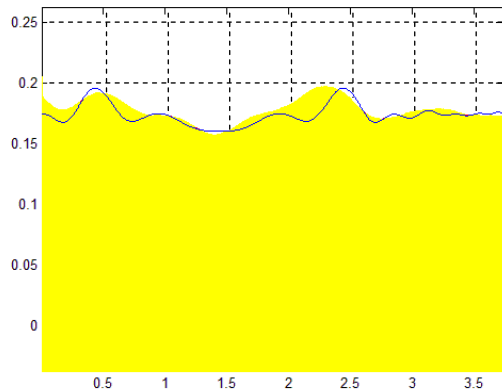
Така този израз придоби по-общ вид, като остава справедлив и за моностатична система. При нея имаме $r_1=r_2=r$ и $r_1+r_2=r+r=2r$.

В нашия случай физическото тяло, който използвахме за обект имаше размери по-малки от дължината на вълната. Затова бе прието, че то разсейва звука ненасочено и може да се разглежда като точков източник.

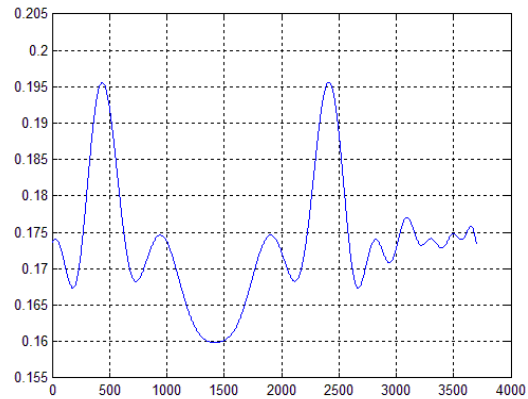
Амплитудата на преотразения от обекта сигнал в точката на приемане A_r може да бъде записана във вида

$$A_r = AK = A \frac{R}{(r_1 + r_2)} \quad (10)$$

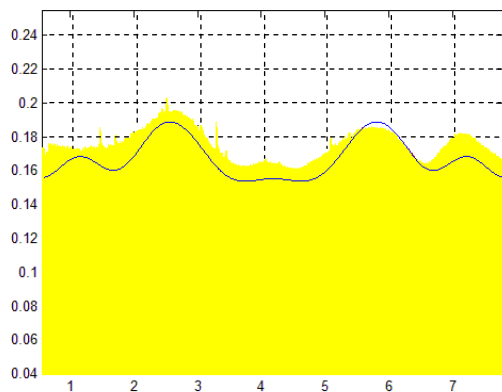
където A е амплитудата на излъчения сигнал, а R е еквивалентния радиус.



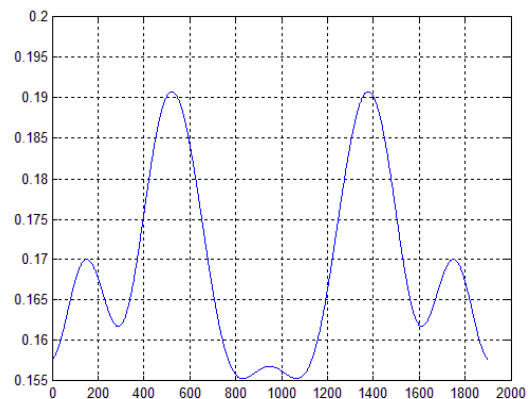
а) Експеримент 1 - сравнение



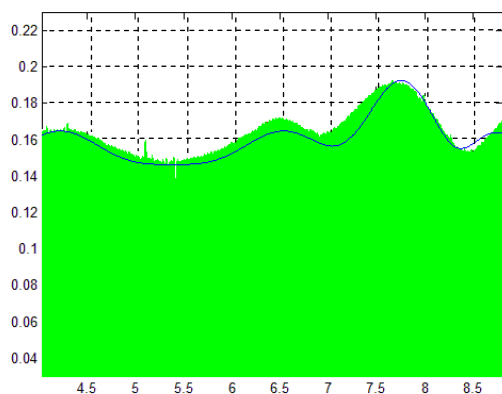
б) Математически експеримент 1



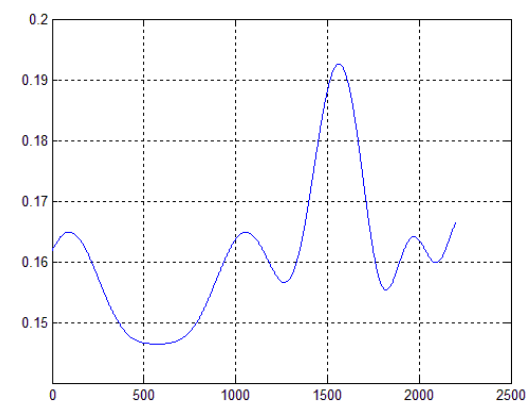
а) Експеримент 2 - сравнение



б) Математически експеримент 2



а) Експеримент 3 - сравнение



б) Математически експеримент 3

Фиг. 4. Сравнение на резултатите от проведения експеримент и математическия модел

След като беше направена тази промяна в математическия модел се установи, че данните от проведените реални измервания на звуковото поле и тези получени от изчисленията почти съвпадат. Сравнението на двата вида данни за различни случаи е представено на (фиг. 4).

3. Изводи

Получените резултати дават основание да се направят някои основни изводи относно характера на резултатното поле:

- Измененията на полето са значителни и могат да бъдат регистрирани. Това означава, че могат да се използват за откриването на подвижен подводен обект.

- Измененията на полето са предизвикани от интерференцията на полетата, които се получават като следствие на влиянието на границата вода – въздух. Това означава, че изменението на полето зависи от пространственото положение на обекта спрямо излъчвателя и приемниците. Проследявайки изменението на полето може да се открие положението на обекта и траекторията на неговото движение.

- Използването на методите на лъчевата акустика при разработването на математическия модел се оказва изключително удачно. При сравнение на данните от проведения реален експеримент и от математическия модел се вижда, че те почти съвпадат. Това означава, че математическият модел съответства на конкретните условия за които е създаден и може да се използва за теоретично изследване на бистатични системи. С помощта на този модел бе установено, че измененията на акустическото поле се дължат на интерференцията на няколко вълнови процеса. Бе установена и обобщената зависимост между нивата на излъчения от излъчвателя и това на преотразения от обекта сигнали.

Зависимостта, с която се отчита влиянието на обекта върху преотразения сигнал е съобразена за конкретните условия на реалния експеримент. Размерите на обекта са по-малки от дължината на вълната и приемаме, че той разсейва звука ненасочено. Когато дължината на вълната е равна или по-малка от размерите на обекта трябва да се отчитат всички условия, които влияят на разсейването. Влияние оказват дължината на вълната, формата, размерите и ориентацията на обекта, както и посоките от него към излъчвателя и приемника. Тези зависимости не са обект на изследване в тази статия.

Разликите между данните от реалните измервания и тези от математическия модел се дължат на грешки в определяне на точното местоположение на обекта по време на реалния експеримент. Скоростта на неговото движение също оказва влияние на получените резултати, но по време на измерванията не беше отчитана.

1. Боббер Р. Дж. *Гидроакустические измерения*/ Пер. с англ. – М.: Мир, 1974.
2. Бреховских Л. М., *Волны в слоистых средах*. – М.: Наука, 1973. с.343
3. Бурдик В. С. *Анализ гидроакустических систем*/ Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1988, стр. 392.
4. Евтютов А. П., Митько В. Б., *Инженерные расчеты в гидроакустике*. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с., (Библиотека инженера – гидроакустика).
5. Новиков А. К. *Статические измерения в судовой акустике*, Л., Судостроение, 1985, стр. 272.
6. Свердлин Г. М., *Прикладная гидроакустика*, Ленинград: Судостроение, 1990.
7. Урик Р. Дж. *Основы гидроакустики*/ Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978, стр. 448.
8. Шендеров Е. Л., *Волновые задачи гидроакустики*. – Л.: Судостроение, 1972, стр.352.