

6. Белоцерковский С.М., Ништ М.И. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. — М.: Наука, 1978. — 351 с.
7. Майборода О.М., Расстригин О.О., Кумпаненко В.М. Методика розрахунку нелінійних нестационарних гідродинамічних характеристик типових шпангоутів днищ човнів літальних апаратів водного і амфібійного базування при симетричному зануренні у рідину з замивом вилиць // Зб. наук. праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2003. — Вип. 12. — С. 119–127.
8. Майборода А.Н. Математическая модель гидродинамики для тела, пересекающего свободную поверхность идеальной несжимаемой жидкости. — Докл. АН УССР. Сер.А. — К. — 1991. — № 5. — С. 50–53.
9. Тихонов А.И. Вопросы глассирования и удара о воду килеватых тел. — М.: Изд-во ЦАГИ. — 1980. — Вып. 2086. — С. 202–221.
10. Расстригин А.А., Майборода А.Н., Михалочкин Н.А. Методологические основы синтеза методов в задаче определения гидродинамических характеристик летательных аппаратов водного и амфибийного базирования для оценки их мореходности при продольном движении по водной поверхности // Пр. VI Міжнародн. наук.-техн. конф. «АВІА-2004», НАУ, Київ 26–28 квітня 2004 р. — С. 33.72–33.75.
11. Расстригин А.А. Некоторые аспекты методологического подхода к повышению эффективности гидродинамического проектирования летательных аппаратов водного и амфибийного базирования // Сб. научн. тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Гидротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники», 21–23 апреля 2003 г. — НТУ «КПИ», Киев. — Т. 2. — 2003. — С. 173–183.
12. Коврижных Л.Д., Тихонов А.И. Глассирование килеватой пластины по волне // Ученые записки ЦАГИ. — Т. XX. — № 1. — 1989. — М.: Изд-во ЦАГИ, 1989. — С. 13–22.
13. Егоров И.Т., Буньков Н.М., Садовников Ю.М. Ходкость и мореходность глассирующих судов. — Л.: Судостроение, 1978. — 336 с.

УДК 623.983

А.В. ДЕРЕПА, канд. техн. наук (Центр науково-дослідний ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСКОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ, ЯКУ ВЕРТИКАЛЬНО ОРІЄНТОВАНО, В ПРИСУТНОСТІ АБСОЛЮТНО ЖОРСТКОЇ СФЕРИ, ЩО ЛЕЖИТЬ НА МЕЖІ РОЗПОДІЛУ СЕРЕДОВИЩ «ВОДА–ПОВІТРЯ»

Проведено дослідження кількісних оцінок звукового поля плоскої антенної решітки, яку вертикально орієнтовано, в присутності корпусу надводного корабля, який моделюється як абсолютно жорстка сфера, що лежить на межі розподілу середовищ «вода–повітря».

Проведено исследование количественных оценок звукового поля плоской вертикально ориентированной антенной решетки в присутствии корпуса надводного корабля, который моделируется как абсолютно жесткая сфера, лежащая на границе раздела сред «вода–воздух».

Постановка проблеми. Створення перспективних засобів гідроакустичного озброєння надводних кораблів тісно пов'язано з проблемами підвищення ефективності гідроакустичних станцій (ГАС), які встановлюються на них. У зв'язку з цим особливу гостроту ви-

кликає питання про вплив корпусу корабля, обтічників та інших конструктивних елементів носія ГАС на її електроакустичні параметри. Існуюча сьогодні схема створення нових ГАС не прив'язує їхні параметри до конкретного корабля-носія. Вимоги до них задаються, виходячи з умов експлуатації їх у безмежному

© А.В. ДЕРЕПА, 2014

морському середовищі, а розробка нових ГАС ведеться без врахування впливу умов розміщення ГАС на майбутньому носії на їхні характеристики. Досвід експлуатації корабельних ГАС із підкільними антенами свідчить про те, що їхні характеристики в умовах експлуатації зазнають суттєвих змін, величина яких залежить від конкретних особливостей як конструкції корабля-носія ГАС, так і взаємного розміщення акустичної антени ГАС і корпусу корабля. Фізичною причиною цих змін є виникнення за експлуатацію ГАС в умовах корабля-носія полів розсіювання звука як від морської поверхні, так і від елементів його конструкції. Природно, що кожний корабель створює поля розсіювання звуку, які притаманні тільки йому. І також зрозумілий той факт, що за створення корабельної ГАС, яку призначено, звичайно для багатьох проектів кораблів, врахування умов впливу цих полів розсіювання звуку не може бути здійснено. Тому й з'явилась проблема оцінки впливу умов експлуатації корабельної ГАС на її параметри від особливостей конструкції корабля.

У роботах [1–5] показано, що наявність на межі розподілу середовищ «вода–повітря» корпусу корабля у вигляді пружного тіла, розсіює звук, впливає на акустичні характеристики випромінюючої антени, що працює в його присутності. Побудова адекватної моделі корпусу носія, що враховує всі особливості конструкції корабля та проведення на її основі кількісних оцінок властивостей антени є задачею, що практично не вирішується. Стосовно вибору форми моделі корпусу корабля, орієнтуючись на розвиток і уточнення потенційних оцінок, які одержано в роботі [1], передбачається доцільним провести дослідження в крайньому разі для двох граничних ситуацій, що характеризують форму корпусу корабля. Так, апроксимуючи корпус циліндром або сферою, слід очікувати, що одержані в кожному випадку результати утворять таку собі «вилку», в рамках якої будуть знаходитись дані, що відповідають реальним конструкціям кораблів, форма яких є проміжною між зазначеними типами тіл.

Мета статті. Вона полягає в тому, що виконано дослідження кількісних оцінок характеристик звукового поля пласкої антенної решітки, яку вертикально орієнтовано, в присутності абсолютно жорсткої сфери, що лежить на межі розподілу середовищ «вода–повітря».

Результати досліджень. Розглянемо модель пласкої антенної решітки, яку вертикально орієнтовано, в присутності абсолютно жорсткої сфери радіусом R , що лежить на межі розподілу середовищ «вода–повітря» (рис. 1), де h — заглиблення антени відносно оболонки сфери; a і b — відповідно висота та ширина пласкої антенної решітки; k — хвильове число води; \vec{r} — радіус-вектор точки спостереження.

Задача визначення звукового поля точкового джерела в присутності абсолютно жорсткої сфери зводиться до визначення рішення рівняння Гельмгольца [5]

$$\Delta\Phi + k^2\Phi = 0$$

за такими граничними умовами [5]:

$$\Phi(\vec{r})|_{r \in S_r} = 0, \quad \frac{d\Phi(\vec{r})}{dn} \Big|_{r \in S_c} = 0,$$

де Φ — потенціал акустичного поля системи «джерело–сфера–межа»; k — хвильове число води; \vec{r} — радіус-вектор точки спостереження.

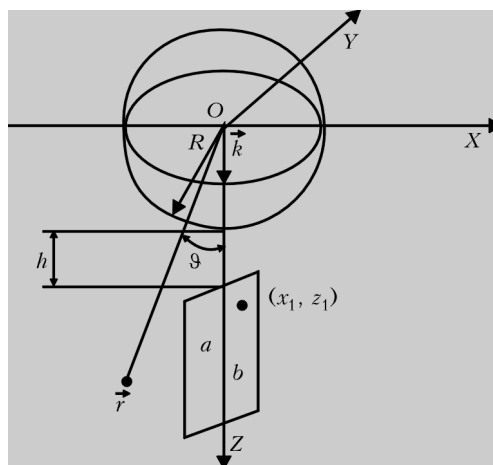


Рис. 1. Схема моделі пласкої антенної решітки, яку вертикально розміщено в присутності абсолютно жорсткої сфери, що лежить на межі розподілу середовищ «вода–повітря»

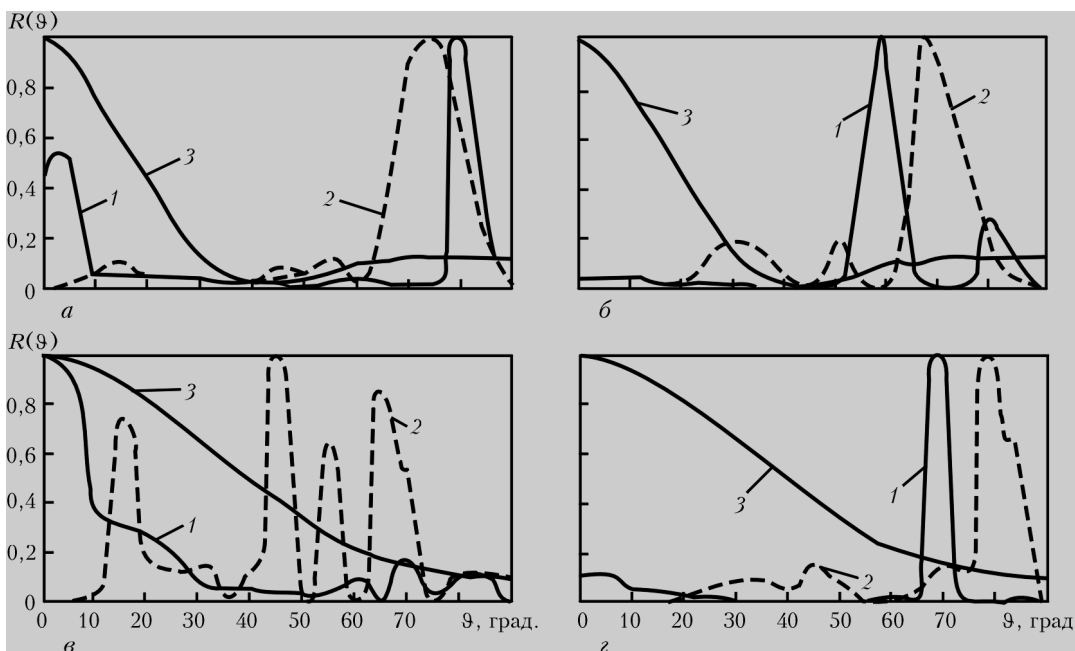


Рис. 2. Діаграми направленості вертикальної плоскої антенної решітки в присутності абсолютно жорсткої сфери: $h = 0,125\lambda$, $\varphi = 0^\circ$ (а); $h = 0,875\lambda$, $\varphi = 0^\circ$ (б); $h = 0,125\lambda$, $\varphi = 60^\circ$ (в); $h = 0,875\lambda$, $\varphi = 60^\circ$ (г) (пояснення надані частково в тексті)

ня; S_Γ — поверхня межі розподілу середовищ «вода–повітря»; S_C — поверхня сфери.

У роботі [5] одержано співвідношення, що визначає поле джерела звуку за довільного його розміщення в точці \vec{r}_1 : $(r_1, \vartheta_1, \varphi_1)$ відносно сфери.

Використовуючи це співвідношення побудуємо вираз, що визначає поле сукупності точкових джерел, які розподілено по площині. Нехай поверхня, на якій розміщено джерела звуку, зображає з себе прямокутник висотою a та шириною b , розташований так, що його вертикальна вісь проходить через центр розподілу середовищ і перпендикулярна площині межі розподілу, а заглиблення прямокутника відносно оболонки дорівнює h ; розмір сфери характеризується її радіусом R . Очевидно, що акустичне поле даної системи можна записати як [5]:

$$\psi(\vec{r}) = \frac{1}{ab} \int_{-a/2}^{a/2} dx_1 \int_{R+h}^{R+h+b} \Phi(\vec{r}, \vec{r}_1) dz_1.$$

Поряд з цим розрахункове співвідношення має вигляд

$$\begin{aligned} \psi(\vec{r}) = & \frac{16k^{a/2}}{ab} \int_0^{a/2} dx_1 \int_{R+h}^{R+h+b} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \overline{P_{2l+1}^{(2m)}} \times \\ & \times \left(\frac{z_1}{r_1} \right) \overline{P_{2l+1}^{(2m)}}(\cos \vartheta) \frac{\cos 2m\varphi}{1 + \delta_{m,0}} \frac{j_{2l+1}(kr) + in_{2l+1}(kr)}{j'_{2l+1}(kr) - in_{2l+1}(kr)} \times \\ & \times [j'_{2l+1}(kR)n_{2l+1}(kr) - n'_{2l+1}(kR)j_{2l+1}(kr_1)] dz_1, \end{aligned}$$

де $r_1 = \sqrt{x_1^2 + z_1^2}$, (x_1, z_1) — декартові координати точки на прямокутній поверхні, що занята точковими джерелами; $n_\lambda(x)$ — сферичні функції Беселя другого роду; $j_\lambda(x) + n_\lambda(x) = h_\lambda^{(2)}(x)$; штрих — похідна відповідної функції за її аргументом.

Для порівняння виконано також розрахунок потенціалу коливальної швидкості в дальньому полі прямокутної поверхні як у вільному середовищі

$$\psi(\vec{r}) = \frac{1}{ab} \int_0^{a/2} dx_1 \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\exp\{-ik|\vec{r} - \vec{r}_1|\}}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} dz_1,$$

так і при відсутності оболонки на межі розподілу середовищ «вода–повітря»

$$\psi(\vec{r}) = \frac{1}{ab} \int_0^{a/2} dx_1 \int_{R+h}^{R+h+b} dz_1 \times \left\{ \frac{\exp\{-ik|\vec{r}-\vec{r}_1|\}}{|\vec{r}-\vec{r}_1|} - \frac{\exp\{-ik|\vec{r}-\vec{r}_2|\}}{|\vec{r}-\vec{r}_2|} \right\}$$

Характерні особливості, що витікають із одержаних результатів, аналізуються нижче.

Деякі результати розрахунків, які виконано за $R = 10\lambda$, $a = 3\lambda$, $b = 2\lambda$ і різних заглибленнях поверхні, що зайнята джерелами звуку відносно сфери, наведено на рис. 2, *a–г*. Криві (рис. 2 *a* і *б*) відповідають перерізу поля, що проходить через максимум діаграми направленості, яка реалізується даним поверхневим джерелом у вільному середовищі ($\varphi = 0^\circ$); на рис. 2 *в* і *г* відповідають боковому полю ($\varphi = 60^\circ$). Криві (рис. 2 *a* і *в*) відповідають заглибленню $h = 0,125\lambda$; на рис. 2 *б* і *г* відповідають заглибленню $h = 0,875\lambda$. Криві 1 відповідають діаграмі направленості за наявності сфери, криві 2 — за її відсутності, криві 3 — вільному середовищу.

Аналіз кривих, які наведено на цих рисунках, показує, що роль абсолютно жорсткої сфери, яка лежить на межі розподілу середовищ «вода–повітря», виявляється дуже істотною в формуванні акустичного поля вертикальної пласкої антенної решітки, що працює в її присутності.

Висновок

У випадку апроксимації корпусу надводного корабля граничним випадком у вигляді жорсткої сфери вплив корпусу на формування акустичного поля вертикальною гідроакустичною антенною решіткою є суттєвим і його необхідно враховувати у разі визначення параметрів гідроакустичної станції в умовах експлуатації. 🌩

Список літератури

1. Дерепя А.В. Аналіз особливостей розміщення корабельних гідроакустичних станцій на носіях та можливостей аналітичної оцінки їх впливу на звукове поле станцій // А.В. Дерепя, О.Г. Лейко, О.В. Панченко // 36. наук. праць. — К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. — 2010. — Вип. 15. — С. 125–131.
2. Дерепя А.В. До визначення звукового поля гідроакустичної антени в присутності елементів корпусу надводного корабля // 36. наук. праць / Миколаїв: Нац. університет кораблебудування. — 2011. — Вип. 2. — С. 122–129.
3. Дерепя А.В. К вопросу о влиянии корпуса корабля на характеристики акустической антенны его навигационной гидроакустической станции // А.В. Дерепя, А.Г. Лейко, А.Н. Майборода // 36. наук. праць «Водний транспорт». — К.: Київська державна академія водного транспорту України. — 2012. — Вип. 3(15). — С. 22–29.
4. Дерепя А.В. Аналіз впливу шпангоутного набору корабля та фізичних властивостей шпангоутів на енергетичні характеристики корабельної гідроакустичної станції з підкільною антеною // 36. наук. праць. — К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. — 2012. — Вип. 3(46). — С. 71–82.
5. Дерепя А.В. До питання формування звукового поля системою «гідроакустична станція–надводний корабель» // А.В. Дерепя, О.Г. Лейко, О.С. Ісаєнко // 36. наук. праць. — К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. — 2013. — Вип. 1(48). — С. 122–129.