

УДК 623.983

**А. В. ДЕРЕПА,**

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки, м. Київ)

## **Аналіз впливу фізичних властивостей шпангоутного набору днища корабля на розподіл амплітуди і фази тиску звукового поля по активній поверхні корабельної антени в системі «надводний корабель – гідроакустична станція»**

*Виходячи із задачі систематизованого дослідження характеристик гідроакустичного озброєння в реальних умовах, проведені кількісні оцінки впливу фізичних властивостей шпангоутного набору днища корабля на звукове поле корабельних гідроакустичних станцій з підкільними антенами.*

*Исходя из задачи систематизированного исследования характеристик гидроакустического вооружения в реальных условиях, проведены количественные исследования влияния физических свойств шпангоутного набора днища корабля на звуковое поле корабельных гидроакустических станций с подкільними антеннами.*

Досвід експлуатації корабельних систем «надводний корабель – гідроакустична станція» («НК-ГАС») з підкільними антенами свідчить про те, що їх характеристики в умовах експлуатації зазнають суттєвих змін, величина яких залежить від конкретних особливостей як конструкції надводного корабля (НК), так і взаємного розміщення акустичної антени гідроакустичної станції (ГАС) та корпусу корабля. Фізичною причиною цих змін є виникнення при експлуатації ГАС в умовах корабля-носія полів розсіювання звуку як від морської поверхні, так і від елементів конструкції корабля. Природно, що кожний корабель створює поля розсіювання звуку, притаманні тільки йому. І також зрозумілий той факт, що при створенні корабельної ГАС, яка призначена звичайно для багатьох проектів кораблів, врахування умов впливу цих полів розсіювання звуку не може бути здійснено. Тому і з'явилась проблема оцінки впливу умов експлуатації корабельної ГАС на її параметри в умовах корабля-носія ГАС.

Пошук шляхів вирішення такої задачі при умові, що корпус носія має складну форму та насичений такими конструктивними елементами, як палуби, переборки, повздовжній та поперечний набори тощо, є складним. У зв'язку з цим доцільно визначити характерні особливості (у подальшому – елементи) корпусу корабля, що знаходяться поблизу антени, стосовно яких провести оцінку звукових полів гідроакустичних антен. До таких характерних елементів віднесемо, у першу чергу, скінченність розмірів носія, його форму, деякі конструктивні елементи (днище, ребра жорсткості тощо), а також фізичні властивості матеріалів елементів його корпусу. При цьому фізичну модель задачі, що розглядається, будемо будувати з урахуванням прийнятих на практиці варіантів розміщення антени на кораблі (під кілем або в носовому бульбовому обтічнику), діапазону робочих частот, типу (розмірів) носія тощо. Це, у свою чергу, обумовлює і математичні особливості рішення задачі.

Вивчення питання, що розглядається, у першу чергу пов'язано з вибором фізичної моделі елементів конструкції корпусу носія. Вважається, що розгляд пружної пластини скінченних розмірів, яка лежить на границі розподілу середовищ «вода – повітря», у принципі відображає як сам факт присутності елементів корпусу носія, так і дозволяє врахувати їхні характерні фізичні властивості та геометричні розміри. У такій постановці можливе одночасне врахування не тільки взаємного розташування антени та пластини, але і деяких конструктивних елементів носія, наприклад корпусного набору у вигляді ребер жорсткості, що розміщені на пластині зі сторони повітря.

Сукупність матеріалів досліджень, наведених автором, дозволяє стверджувати, що реберний набір і параметри, які його характеризують, суттєво впливають на направленість і енергетичні характеристики корабельної підкільної гідроакустичної антени.

**Метою** цієї роботи є дослідження кількісних оцінок впливу фізичних властивостей шпангоутного (реберного) набору днища корабля на параметри звукового поля підкільних антен корабельних ГАС у системі «НК-ГАС».

Розглянемо вплив фізичних властивостей шпангоутного (реберного) набору днища корабля на розподіл амплітуди і фази тиску звукового поля по активній поверхні підкільної корабельної антени в системі «НК-ГАС». Розрахункова модель системи «гідроакустична антена – корабель», що досліджується, зображена на рис. 1, а позначення відповідають позначенням, прийнятим у роботі [1].

Дослідження значень модуля і фази тиску звукового поля по активній поверхні підкільної корабельної антени проведені при різних типах розподілу коливальної швидкості вздовж твірної антени як при відсутності нахилу діаграми спрямованості у вертикальній площині, так і у випадку її нахилу. Співвідношення і позначення відповідають наведеним у роботі [1].

Значення модуля і фази тиску звукового поля, що цікавлять нас, виходячи із зручності проведення розрахунків, подамо в нормованому вигляді:

$$|P_{(c\bar{r})}| [\rho_e c_e |v(\bar{r}_0)|]^{-1} = P,$$

$$\varphi^\circ(\bar{r}) = \varphi_p(\bar{r}) - \varphi_v(\bar{r}),$$

де  $\bar{r} \in S_0$ ;  $\bar{r}_0$  – відповідає координаті центра верхньої зони розділення поверхні антени по координаті  $z$ ;  $\varphi_v(\bar{r}_0)$  – значення фази коливальної швидкості в точці  $\bar{r}_0$ ;  $\varphi_p(\bar{r})$  – значення фази тиску в даній точці на поверхні антени.

Поведінку модуля і фази тиску звукового поля дослідимо далі.

Як розрахункові співвідношення прийняті аналітичні вирази, отримані в роботі [1]. Розрахунки виконувалися для таких параметрів антен і елементів конструкції корпусу корабля. Акустична антена кругова циліндрична непрозора для звуку діаметром  $D = 0,5 \lambda$  і висотою  $H = \lambda$  розбита вздовж твірної на  $n$  однакових ділянок. Пластина має розміри  $L_x \times L_y = (4 \times 3) \lambda$ ; товщину  $kh_1 = 0,27; 0,54$  та виконана із сталі ( $E = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma = 0,25$ ;  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) або з алюмінію ( $E = 6,9 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ;

$\sigma = 0,36$ ;  $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Ребра жорсткості виконані або із сталі, або з алюмінію. Ширина ребер прийнята рівній  $kl_{x,y} = 0,138 \lambda$  відстань між центрами ребер  $kd_{x,y} = 0,689 \lambda$ . Розрахунки виконані для значення  $k\lambda = 3,446$ .

Розглянемо послідовно ряд випадків, що являють практичний інтерес. Зокрема, цікава оцінка значень модуля і фази тиску звукового поля  $P$  і  $\varphi^\circ$  вздовж твірної антени при різному взаємному розташуванні антени і пластини і порівняння отриманих результатів з випадками, коли пластина на границі розподілу середовищ відсутня, і коли антена розміщена в безмежному середовищі. Ілюструють такі залежності криві, що показані на рис. 2–5.

Група рис. 2–5 відповідає значенню перерізу поверхні антени вертикальною площиною  $\varphi = \varphi_1 = 22,5^\circ$ . Рис. 2 і 4 одержані при  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ; значенню  $\vartheta_0 = 60^\circ$  відповідають рис. 3 і 5. Заглибленню антени  $z_T = 0,125 \lambda$  відповідають рис. 2 і 3;  $z_T = 1 \lambda$  – рис. 4 і 5.

Криві на рис. 4 і 5 отримані за умови центрального розташування антени прийнятих вище розмірів відносно сталевій пластині, розміри якої також обумовлені вище, криві 2 – при зміщенні антени на величину  $(L_x/2) - R$ , криві 3 –  $L_x/2$ , криві 4 –  $(L_x/2) + R$ , криві 5 – при відсутності пластини на гладкій границі розподілу середовищ «вода – повітря», криві 6 – при розміщенні антени у вільному середовищі.

Аналіз кривих 4 і 5 показує, що розподіл нормованих значень тиску  $P(a)$  і фази  $\varphi^\circ$  (б) вздовж твірної антени істотно залежить як від взаємного розташування антени і пластини, так і від заглиблення антени відносно поверхні  $S \in S_r \cup S_n$  (рис. 1).

При цьому характер вказаних залежностей відрізняється в різних перерізах поверхні антени по координаті. Ступінь впливу пластини на досліджувані характеристики, який впливає з порівняння кривих 1–4 з кривими 5, 6, також залежить від значення  $\varphi$ . Відзначений вплив спостерігається як при малих, так і при порівняно великих значеннях  $z_T$ , а також при різних типах розподілу

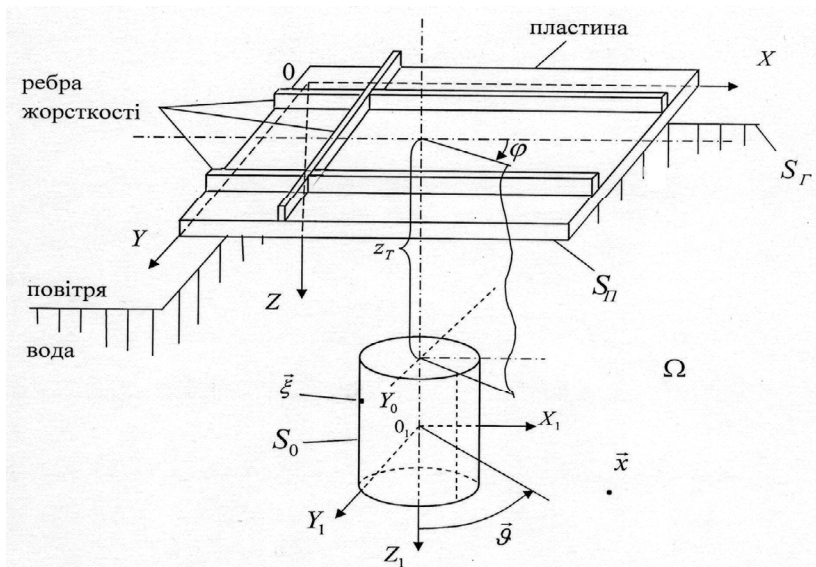


Рис. 1. Модель гідроакустичної антени скінченних розмірів у присутності пружної пластини обмежених розмірів, що лежить на границі розподілу середовищ «вода – повітря»

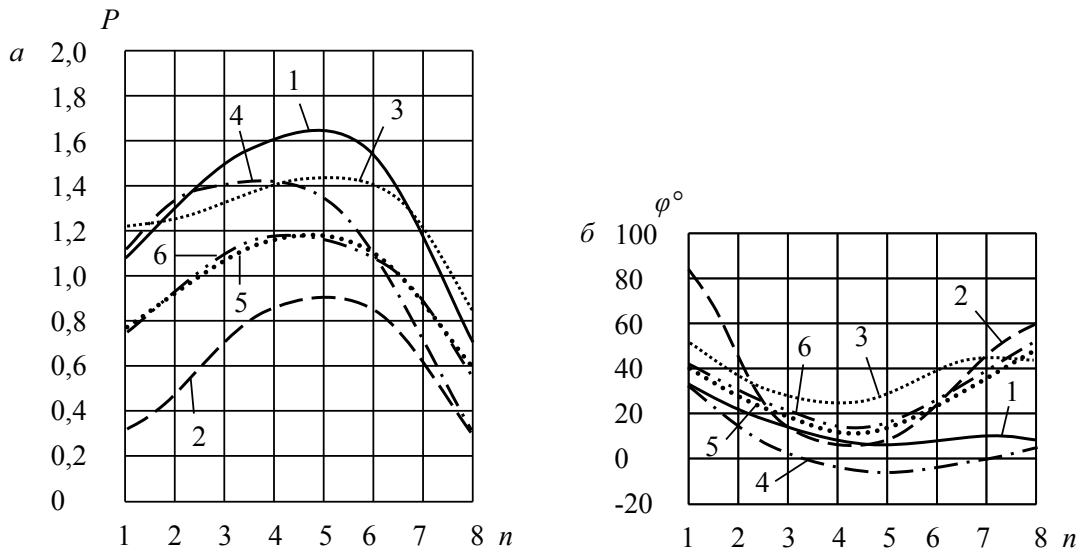


Рис. 2. Модуль і фаза тиску звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ,  $z_T = 0,125\lambda$

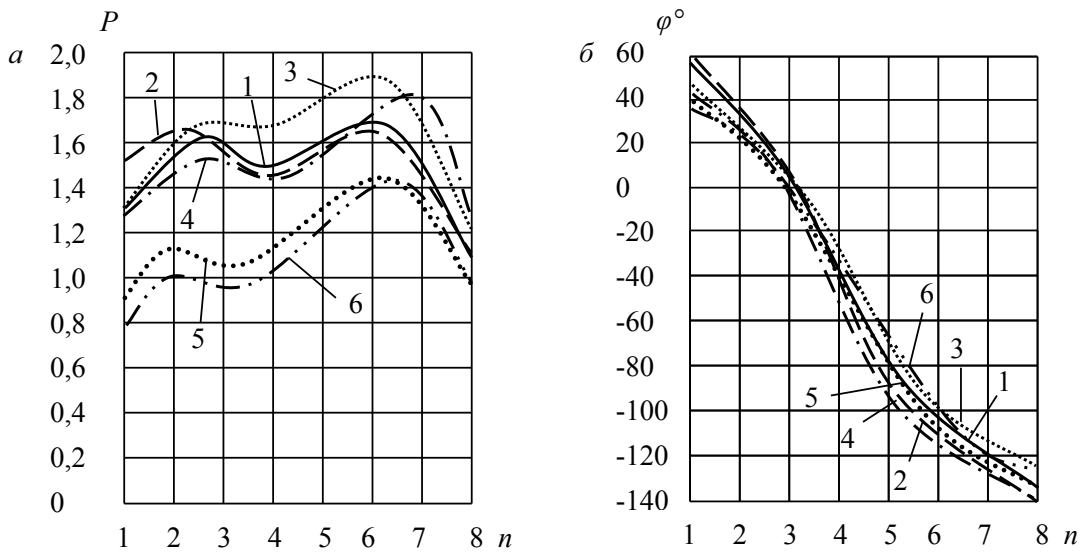


Рис. 3. Модуль і фаза тиску звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 60^\circ$ ,  $z_T = 0,125\lambda$

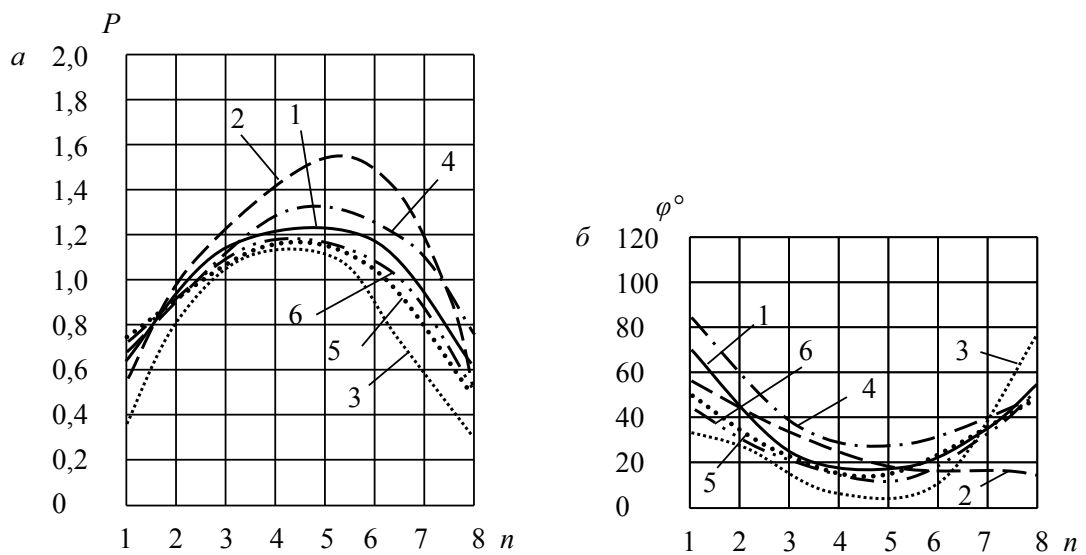


Рис. 4. Модуль і фаза тиску звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ,  $z_T = 1\lambda$

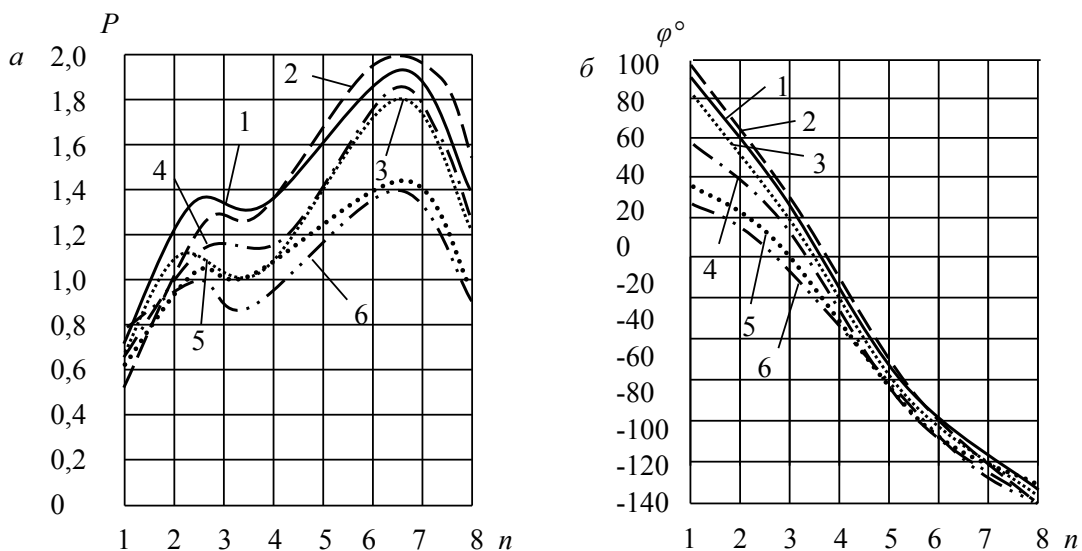


Рис. 5. Модуль і фаза тиску звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 60^\circ$ ,  $z_T = 1\lambda$

коливальної швидкості по поверхні антени ( $\vartheta_0 = 90^\circ$ ,  $60^\circ$ ). Цікаво відзначити, що в залежності від взаємного розташування антени і пластини, навіть за відсутності компенсації діаграми спрямованості, на антені можуть виникати ділянки (крива 4 для  $\varphi^\circ$  на рис. 2) протифаз, тоді як при наявності компенсації такі ділянки є як при роботі антени в системі «пластина – антена», так і у відсутності пластини, а також в безмежному середовищі. Відзначимо також, що фазові відмінності розглянутих випадків виражені яскравіше при великих значеннях  $z_T$ .

Розглянемо вплив товщини пластини у формуванні досліджуваних нами характеристик поля антени. У зв'язку з цим був виконаний розрахунок розподілу значень  $P$  і  $\varphi^\circ$  вздовж твірної антени при товщині сталюї пластини  $kh_1 = 0,27$ ;  $0,54$ . Результати такого розрахунку для центрального розміщення антени показані на рис. 6 для  $z_T = 0,125\lambda$  і  $\vartheta_0 = 90^\circ$ .

Криві 1 на рис. 5 і 6 відповідають значенню  $\varphi = \varphi_1 = 22,5^\circ$ ; криві 2 –  $\varphi_2 = 67,5^\circ$ , при  $kh_1 = 0,27$ ; криві 3 –  $\varphi_1$ , криві 4 –  $\varphi_2$  при  $kh_1 = 0,54$ . Видно, що товщина пластини є істотним чинником, що впливає на розподіл тиску по поверхні антени. Як і в попередньому випадку, зміна товщини пластини навіть при  $\vartheta_0 = 90^\circ$  може викликати появу ділянок протифаз на поверхні антени.

Наступним фактором, що потенційно впливає на досліджувані характеристики, є фізичні властивості матеріалу пластини. Для кількісної оцінки цього впливу був проведений розрахунок  $P$  і  $\varphi^\circ$  для двох випадків, коли пластина виконана із сталі і алюмінію. Результати такого розрахунку зображені на рис. 7 для  $z_T = 0,125\lambda$  і  $\vartheta_0 = 90^\circ$  при центральному розташуванні антени щодо пластини, товщина якої  $kh_1 = 0,54$ . Криві 1 і 2 відповідають  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для сталюї пластини, криві 3 і 4 –  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для алюмінієвої пластини. Видно, що залежно від

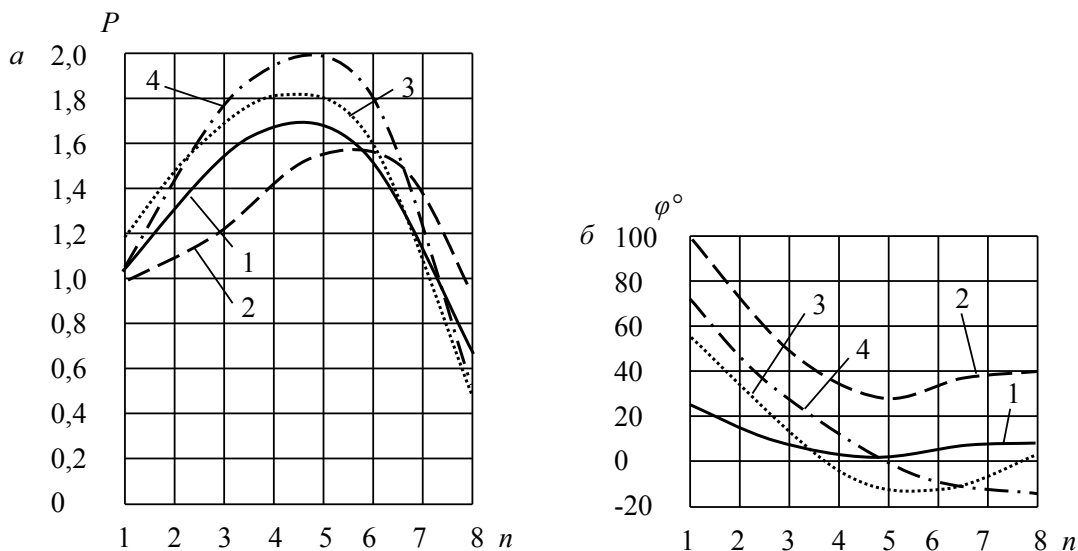
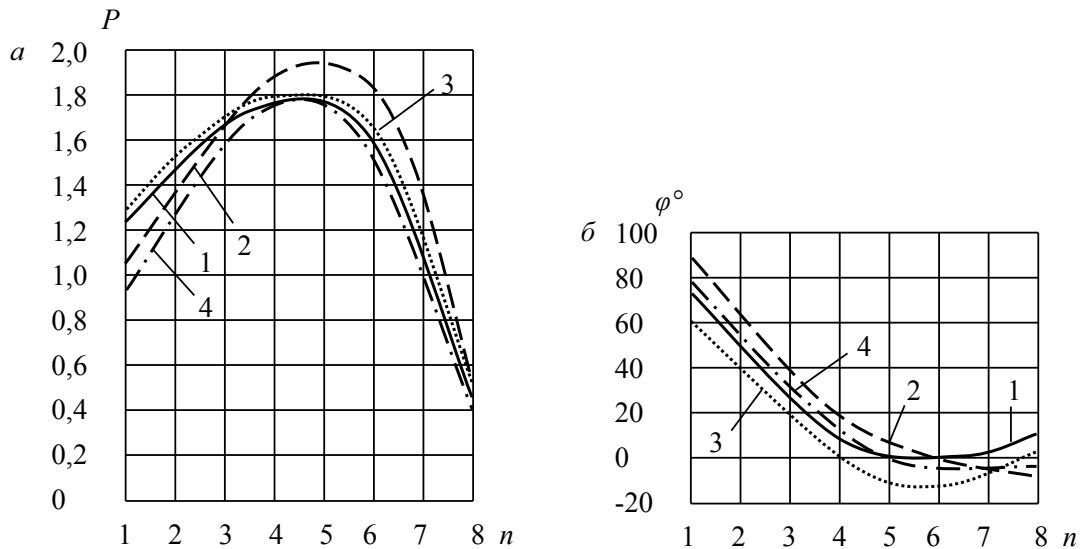
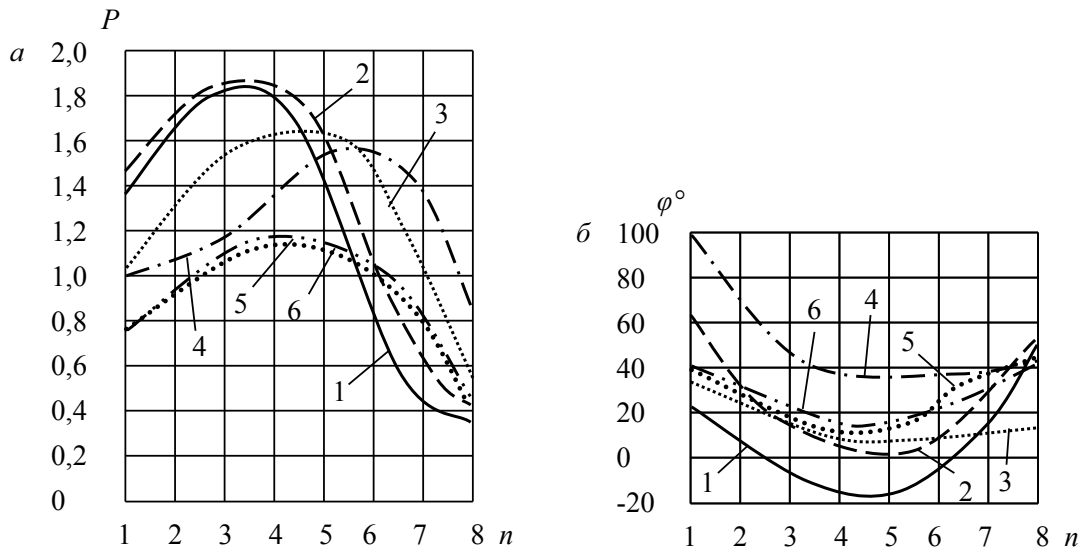


Рис. 6. Модуль і фаза тиску звукового поля для різних значень  $\varphi$  при товщині сталюї пластини

$kh_1 = 0,27$ ;  $0,54$  для  $z_T = 0,125\lambda$  і  $\vartheta_0 = 90^\circ$

Рис. 7. Модуль і фаза тиску звукового поля різних значень  $\varphi$  у залежності від матеріалу пластини,

$$z_T = 0,125\lambda \text{ і } \vartheta_0 = 90^\circ$$

Рис. 8. Модуль і фаза тиску звукового поля для різних значень  $\varphi$  при наявності реберного набору та центральному розміщенні антени,  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ 

матеріалу пластини розміри і кількість ділянок проти-фаз на поверхні антени може змінюватися, і відмінності значень  $P$  також зберігаються.

Оцінимо далі вплив реберного набору, розташованого на пластині з боку повітря, на розподіл значень  $P$  і  $\varphi^\circ$  вздовж твірної антени. Перед усім припустимо, що ребра розташовані тільки вздовж однієї із сторін сталеві пластини, наприклад, вздовж сторони  $L_x$ . Припустимо, що висота цих ребер  $10kh_1$ . Виявлення впливу такого реберного набору може бути проведено на основі аналізу кривих на рис. 8, отриманих при центральному розташуванні антени  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ .

Криві 1 на цих рисунках відповідають перерізу по  $\varphi_2$ , криві 2 –  $\varphi_2$  при наявності ребер, криві 3 –  $\varphi_1$ , криві 4 –  $\varphi_2$  при відсутності ребер, криві 5 – при відсутності пластини на гладкій межі, криві 6 – у вільному середовищі. Як випливає з аналізу, присутність ребер істотно

змінює амплітудно-фазову структуру поля на поверхні антени в порівнянні з випадком їх відсутності.

Збільшення заглиблення антени до значення  $z_T = 1\lambda$  приводить до результатів, що наведені на рис. 9 для  $\vartheta_0 = 90^\circ$ , нумерація і приналежність кривих на рис. 9 аналогічні прийнятій на рис. 8. Видно, що в цьому випадку при  $\vartheta_0 = 90^\circ$  роль ребер зменшилася в порівнянні з попереднім випадком. У той же час, розрахунки показують, що при  $\vartheta_0 = 60^\circ$  ця роль залишається помітною.

На закінчення виконаємо оцінку впливу мірності реберного набору та фізичних властивостей матеріалу ребер на досліджувані характеристики. Деякі результати досліджень, виконаних в цих напрямках, зображені на рис. 10 для центрального розташування антени щодо сталеві пластини товщиною  $kh_1 = 0,27$ ;  $z_T = 0,125\lambda$  і  $\vartheta_0 = 90^\circ$ . Криві 1 на цьому рисунку відповідають  $\varphi_1$ , криві 2 –  $\varphi_2$  для випадку двовимірного реберного

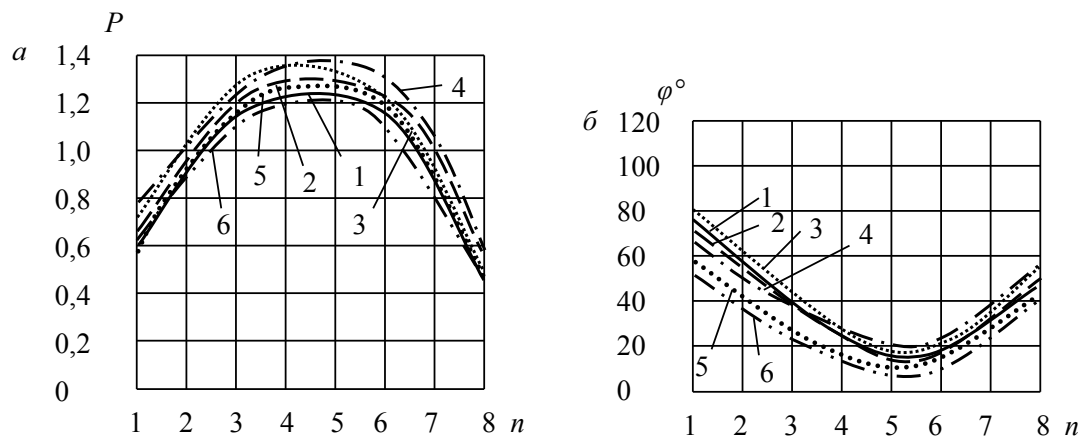


Рис. 9. Модуль і фаза тиску звукового поля для різних значень  $\varphi$  при наявності реберного набору та центральному розміщенні антени,  $z_T = 1\lambda$ ,  $\vartheta_a = 90^\circ$

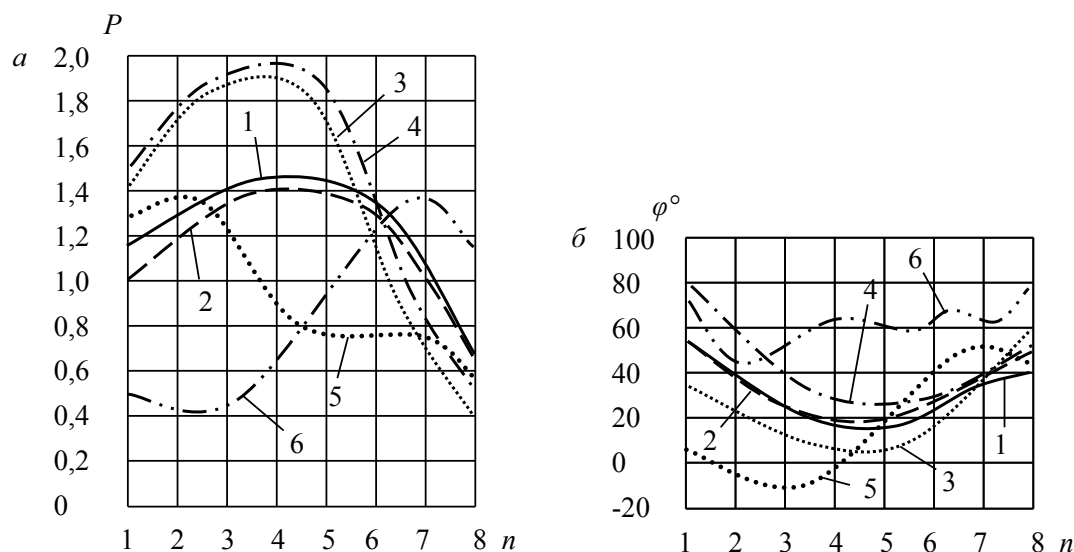


Рис. 10. Модуль і фаза тиску звукового поля для різних значень  $\varphi$  при наявності реберного набору та центральному розміщенні антени  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$

набору (ребра паралельні сторонам  $L_x$  і  $L_y$ ); криві 3 –  $\varphi_1$ ; криві 4 –  $\varphi_2$  для одновимірного реберного набору (ребра паралельні сторонам  $L_x$ ). Для кривих 1–4 висота ребер рівна  $10kh_1$ . Крива 5 на рис. 10 відповідає  $\varphi_1$ , крива 6 –  $\varphi_2$  для двовимірного реберного набору, в якому ребра паралельні стороні  $L_x$ , виконані із сталі та мають висоту  $1kh_1$ , а ребра, паралельні стороні  $L_y$ , виконані з алюмінію і мають висоту  $10kh_1$ .

З рис. 10 випливає, що наявність реберного набору, його мірність, висота ребер і фізичні властивості їх матеріалу відіграють істотну роль у формуванні тонкої структури поля тиску на поверхні антени.

**Висновок.** Виконаний аналіз із залученням чисельних оцінок показує, що наявність реберного набору, його мірність і параметри, що характеризують реберний набір, є суттєвими чинниками у формуванні поля тиску

в акустичній антені корабельної ГАС. Більш того, показано, що комбінацією фізичних параметрів реберного набору можливо забезпечити управління характеристиками звукового поля антени.

#### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Дерепя А. В. До визначення звукового поля гідроакустичної антени в присутності елементів корпусу надводного корабля // Збірник наук. праць / Нац. ун-т кораблебудування. Вип. 2. Миколаїв : Нац. ун-т кораблебудування, 2011. С. 122–129.

**Рецензент А. Г. Лейко**, д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»)