

---

аварийной ситуации) одним из важнейших является вопрос о подпалубных пустотах. Только в случае технологической возможности их ограничения или устранения должно быть разработано нормирование на основе неизбежного допущения смещения навалочного груза. Наличие аварийного крена от смещения груза опасно, оно снижает безопасность мореплавания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование подвижности сыпучих грузов и ее влияние на безопасность судна в условиях морской перевозки. М. Е. Барановский. М.: ЦНИИМФ, 1958. – 96с.
2. Бекенский Б.В. Практические расчеты мореходных качеств судна. М.: Транспорт, 1974. – 264с.
3. Мельник В.Н. Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судна/ М.: Транспорт, 1990. –144с.

УДК 623.983

*Дерена А.В., Лейко А.Г., Майборода А.Н.*

#### К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ КОРПУСА КОРАБЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ЕГО НАВИГАЦИОННОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

*В статье приведены данные исследования количественных оценок значений модуля и фазы давления звукового поля на поверхности гидроакустических антенн, размещенных в корпусе корабля, с учетом влияния корпуса корабля и его реберного набора.*

*Ключевые слова: граница раздела сред, гидроакустическая антенна, диаграмма направленности, упругая пластина, звуковое давление.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Успешное выполнение задач надводными кораблями (НК), в том числе задачи навигационной безопасности, во многом зависит от эффективности навигационной гидроакустической станции корабля, предназначенной для наблюдения подводной обстановки впереди по курсу корабля и обеспечивающей обнаружение подводных навигационных препятствий, затонувших объектов и различных подводных сооружений.

Исследования системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» («ГАС-НК»), результаты которых приведены в работах [1-3], позволили установить, что в большинстве случаев реальные условия эксплуатации корабельных гидроакустических станций, в том числе и навигационных с антеннами, размещенными в корпусе корабля, являются причиной существенных отличий параметров ГАС от тех, которые закладывались при их проектировании. Объясняется это тем, что требования при разработке ГАС задаются для условий безграничной среды и не учитывают конкретные особенности эксплуатации будущей системы «ГАС-НК». Особенно это характерно для навигационных ГАС, которые устанавливаются на разные проекты кораблей (судов), существенно отличающиеся между собой по своим параметрам и характеристикам.

**Целью** данной работы является изучение влияния ряда эксплуатационных факторов системы «ГАС-НК» на характеристики корабельных гидроакустических антенн, размещенных в корпусе корабля-носителя.

**Результаты исследований.** К эксплуатационным факторам, влияющим на характеристики корабельных гидроакустических антенн, размещенных в корпусе корабля–носителя, относятся наличие морской поверхности и находящийся на ней корпус корабля–носителя ГАС. В математической модели этим факторам адекватны граница распределения сред «вода–воздух» и наличие на этой границе упругой пластины с заданными толщиной и физическими свойствами материала, наличие или отсутствие подкрепляющего пластину реберного набора, его мерности, высоты и физических свойств материала ребер жесткости, а также взаимного расположения акустической антенны ГАС и пластины (рис.1).

Исследования проведены при различных типах распределения колебательной скорости вдоль образующей антенны, соответствующих как отсутствию наклона диаграммы направленности в вертикальной плоскости, так и случаю ее наклона. При выполнении расчетов использовались соотношения и обозначения, приведенные в работе [3].

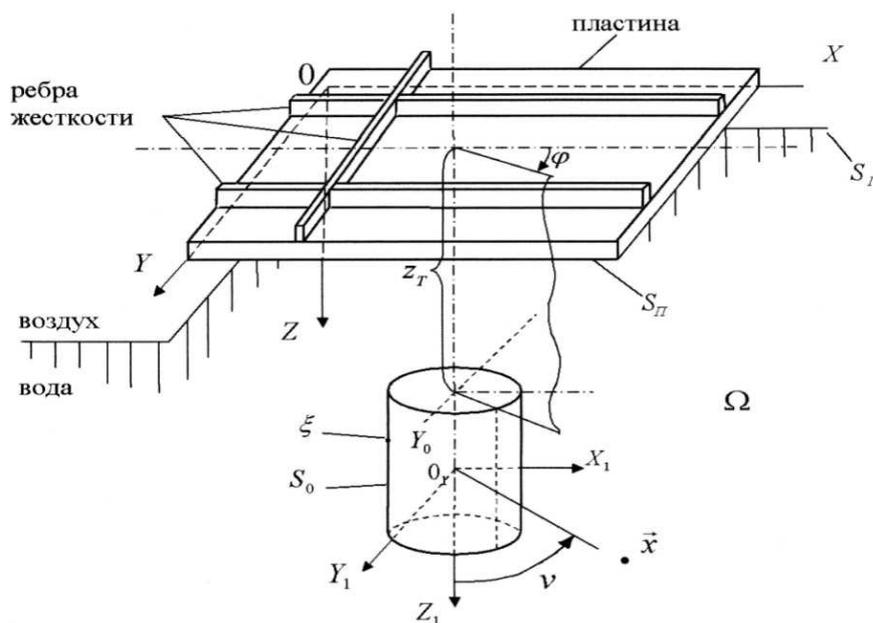


Рис. 1. Акустическое поле гидроакустической антенны конечных размеров в присутствии упругой пластины с ребрами жесткости на границе раздела сред «вода–воздух»

Интересующие нас значения модуля и фазы давления звукового поля, исходя из удобства проведения расчетов, представим в нормированном виде

$$\left| P_{(c\vec{r})} \left[ \left[ \rho_s c_s |v(\vec{r}_0)| \right]^{-1} \right] = P^\circ, \quad \varphi^\circ(\vec{r}) = \varphi_p(\vec{r}) - \varphi_v(\vec{r}),$$

где  $\vec{r} \in S_0$ ,  $\vec{r}_0$  – соответствует координате центра верхней зоны разбиения поверхности антенны по координате  $z$ ,  $\varphi_v(\vec{r}_0)$  – значение фазы колебательной скорости в точке  $\vec{r}_0$ ,  $\varphi_p(\vec{r})$  – значение фазы давления в данной точке на поверхности антенны. Поведение именно этих величин исследуем далее.

В качестве расчетных соотношений были приняты аналитические выражения, полученные в работе [3]. Расчеты выполнялись для следующих параметров антенн и элементов конструкции корпуса корабля. В качестве акустической антенны принята круговая цилиндрическая непрозрачная для звука антенна диаметром  $D=0,5\lambda$  и высотой  $H=\lambda$ . Пластина имеет размеры  $L_x \times L_y = (4 \times 3)\lambda$ ; толщину  $kh_1 = 0,27; 0,54$  и выполнена из стали ( $E = 1,96 \times 10^{11} \text{ н/м}^2$ ;  $\sigma = 0,25$ ;  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) либо из алюминия ( $E = 6,9 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2$ ;

$\sigma = 0,36$ ;  $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Ребра жесткости выполнены либо из стали, либо из алюминия. Ширина ребер принята равной  $kl_{x,y} = 0,138\lambda$ , расстояние между центрами ребер  $kd_{x,y} = 0,689\lambda$ . Расчеты выполнены при значении  $k\lambda = 3,446$

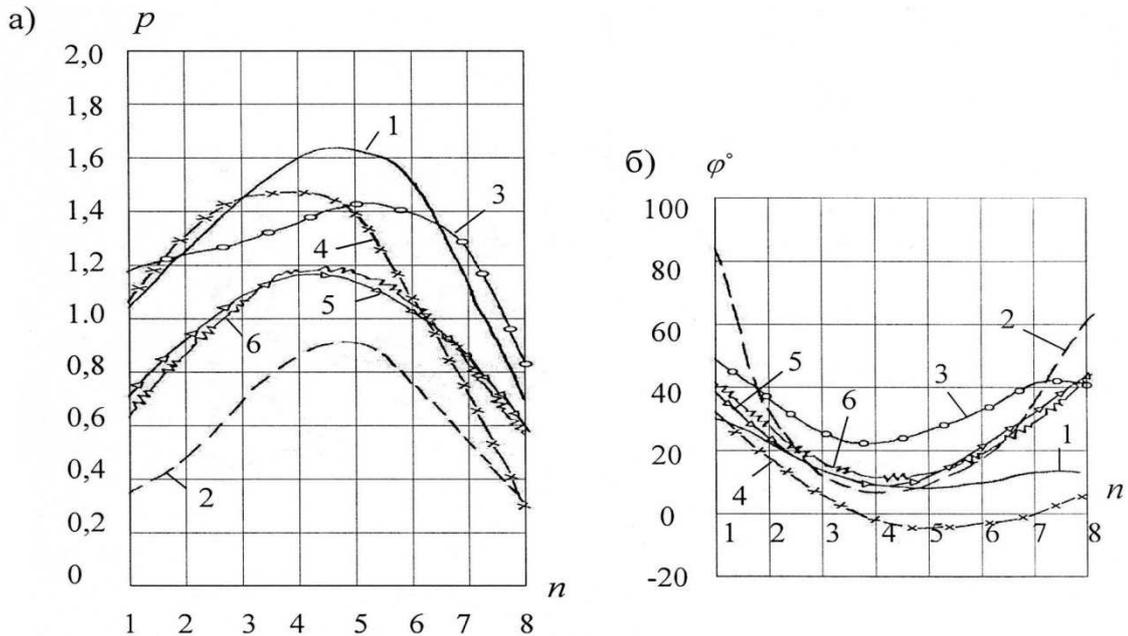


Рис. 2. Модуль и фаза давления звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ,  $z_T = 0,125\lambda$

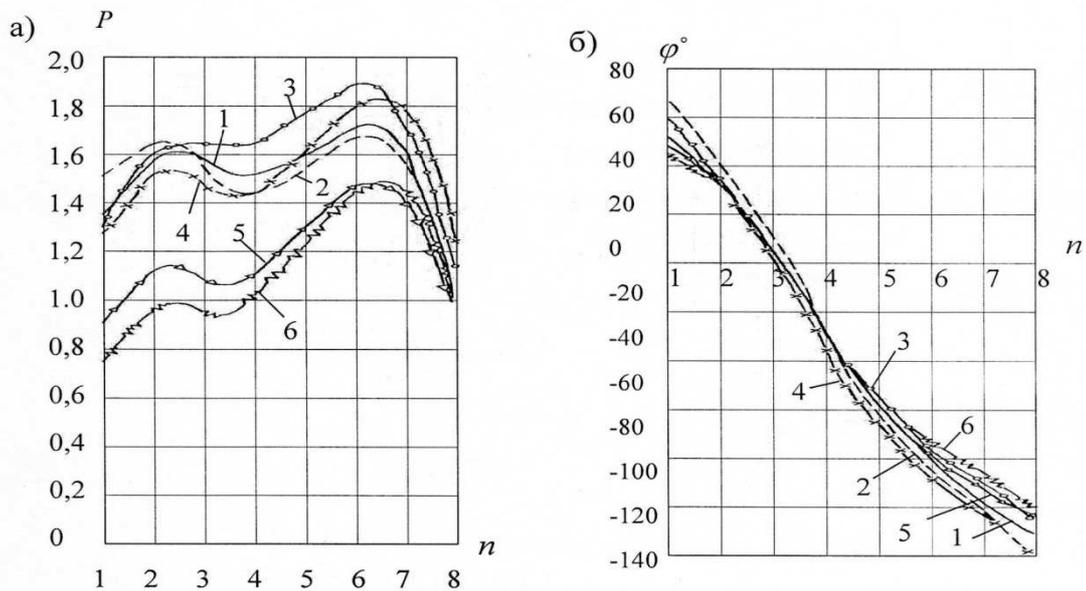


Рис. 3. Модуль и фаза давления звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 60^\circ$ ,  $z_T = 0,125\lambda$

Рассмотрим последовательно ряд представляющих практический интерес случаев. В частности, представляет интерес оценка значений модуля и фазы давления звукового поля  $P$ ,  $\varphi$  вдоль образующей антенны при различном взаимном расположении антенны и пластины и сравнение полученных результатов со случаями, когда пластина на границе раздела

сред отсутствует и когда антенна размещена в безграничной среде. Иллюстрируют такие зависимости кривые, приведенные на рис. 2–5.

Группа рисунков 2–5 соответствует значению сечения поверхности антенны вертикальной плоскостью  $\varphi = \varphi_1 = 22,5^\circ$ . Рисунки 2 и 4 получены при  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ; значению  $\vartheta_0 = 60^\circ$  соответствуют рис. 3 и 5. Заглублению антенны  $z_T = 0,125\lambda$  соответствуют рис. 2 и 3;  $z_T = 1\lambda$  – рис. 4 и 5.

Кривые 1 на этих рисунках получены при условии центрального расположения антенны принятых выше размеров относительно стальной пластины, размеры которой также оговорены выше, кривые 2 – при смещении антенны на величину  $(L_x/2) - R$ , кривые 3 –  $L_x/2$ , кривые 4 –  $(L_x/2) + R$ , кривые 5 – при отсутствии пластины на гладкой границе раздела сред «вода–воздух», кривые 6 – при размещении антенны в свободной среде.

Анализ кривых 4 и 5 показывает, что распределение нормированных значений давления  $P$  (а) и фазы  $\varphi^\circ$  (б) вдоль образующей антенны существенно зависит как от взаимного расположения антенны и пластины, так и от заглубления антенны относительно поверхности  $S \in S_T \cup S_{II}$  (рис. 1).

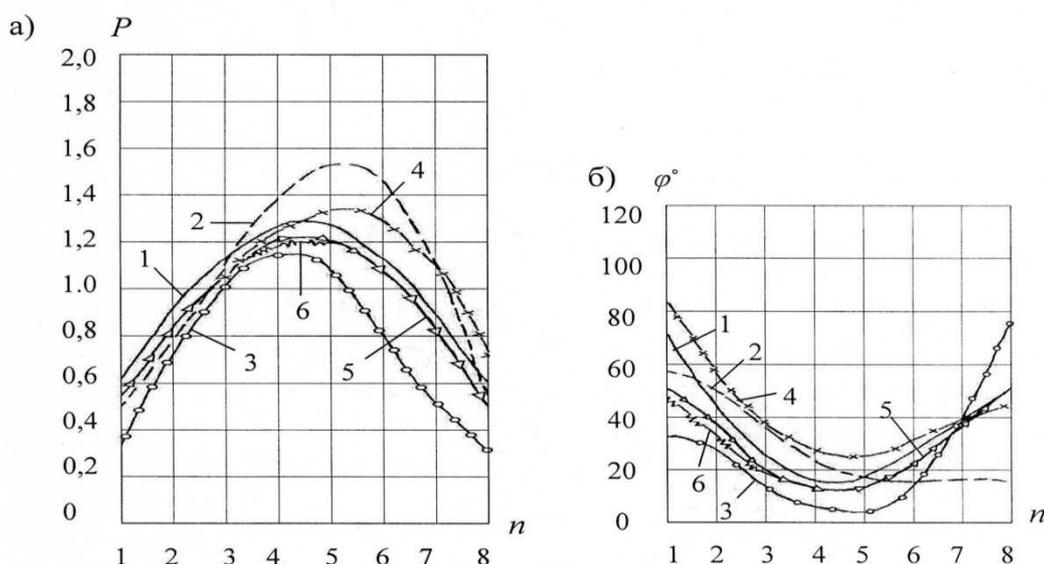


Рис. 4. Модуль и фаза давления звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ ,  $z_T = 1\lambda$

При этом характер указанных зависимостей отличается в различных сечениях поверхности антенны по координате. Степень влияния пластины на исследуемые характеристики, которая следует из сравнения кривых 1–4 с кривыми 5, 6, также зависит от значения  $\varphi$ . Отмеченное влияние наблюдается как при малых, так и при сравнительно больших значениях  $z_T$ , а также – при различных типах распределения колебательной скорости по поверхности антенны ( $\vartheta_0 = 90^\circ, 60^\circ$ ).

Интересно отметить, что в зависимости от взаимного расположения антенны и пластины, даже при отсутствии компенсации диаграммы направленности, на антенне могут возникать противофазные участки (кривая 4 для  $\varphi^\circ$  на рис. 2), тогда как при наличии компенсации такие участки имеются как при работе антенны в системе «пластина-антенна», так и в отсутствии пластины, а также – в безграничной среде. Отметим, также, что фазовые различия рассмотренных случаев выражены ярче при больших значениях  $z_T$ .

Рассмотрим влияние толщины пластины в формировании исследуемых нами характеристик поля антенны. В связи с этим был выполнен расчет распределения вдоль образующей антенны значений  $P$  и  $\varphi^\circ$  при толщине стальной пластины  $kh_1 = 0,27; 0,54$ . Результаты такого расчета для центрального расположения антенны приведены на рис. 6 для  $z_T = 0,125\lambda$  и  $\vartheta_0 = 90^\circ$ .

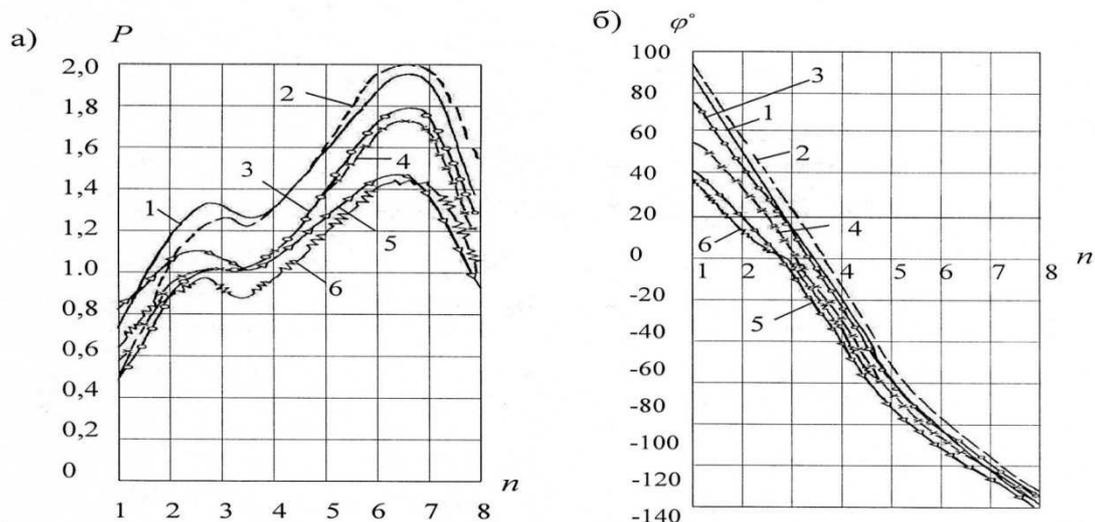


Рис. 5. Модуль и фаза давления звукового поля при  $\varphi = 22,5^\circ$ ,  $\vartheta_0 = 60^\circ$ ,  $z_T = 1\lambda$

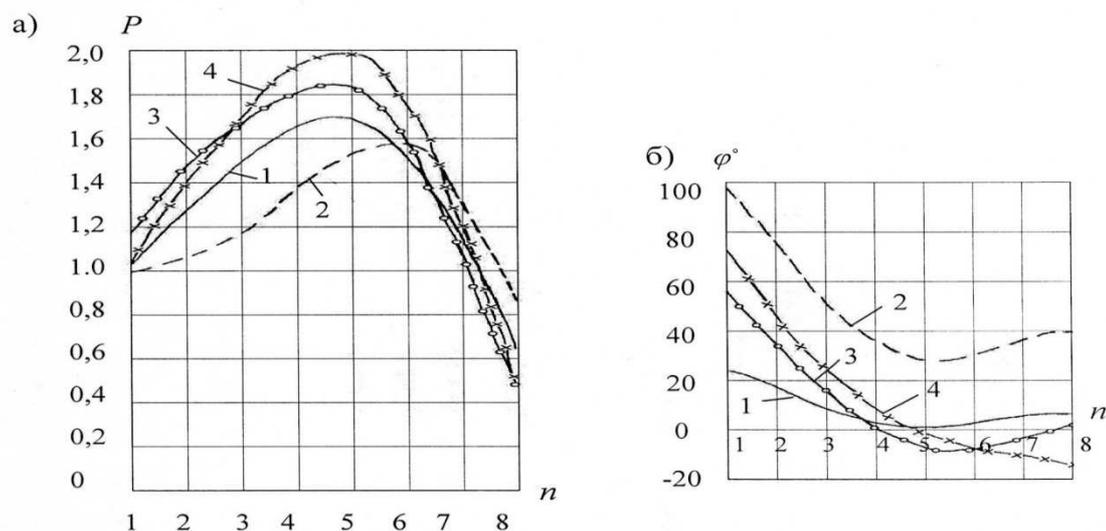


Рис. 6. Модуль и фаза давления звукового поля для разных значений  $\varphi$  при толщинах стальной пластины  $kh_1 = 0,27; 0,54$  для  $z_T = 0,125\lambda$  и  $\vartheta_0 = 90^\circ$

Кривые 1 на этих рисунках соответствуют значению  $\varphi = \varphi_1 = 22,5^\circ$ ; кривые 2 –  $\varphi_2 = 67,5^\circ$  при  $kh_1 = 0,27$ ; кривые 3 –  $\varphi_1$ , кривые 4 –  $\varphi_2$  при  $kh_1 = 0,54$ . Видно, что толщина пластины является существенным фактором, влияющим на распределение давления по поверхности

антенны. Как и в предыдущем случае, изменение толщины пластины даже при  $\vartheta_0 = 90^\circ$  может вызвать появление противофазных участков на поверхности антенны.

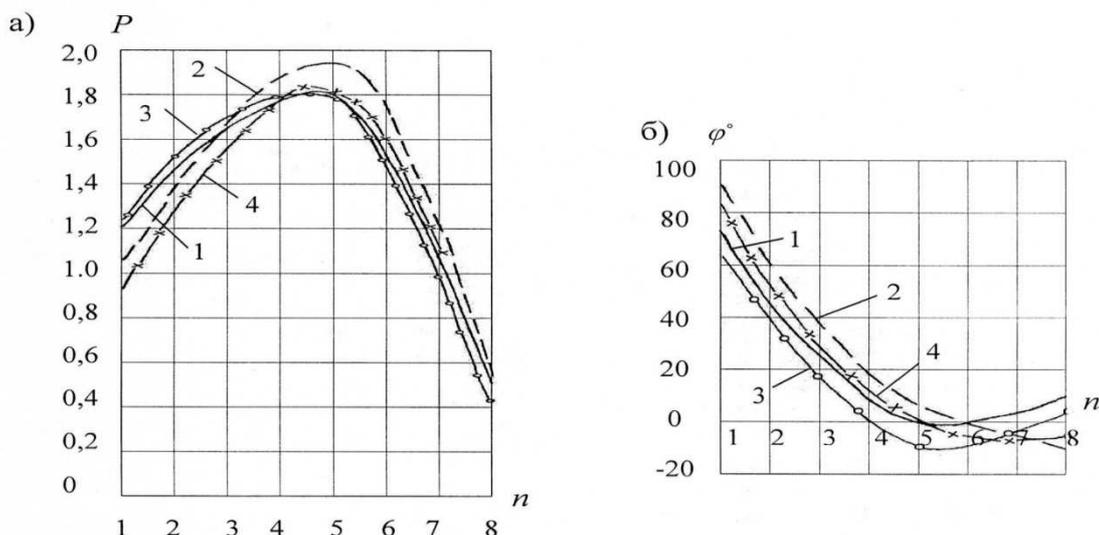


Рис. 7. Модуль и фаза давления звукового поля разных значений  $\varphi$  в зависимости от материала пластины,  $z_T = 0,125\lambda$  и  $\vartheta_0 = 90^\circ$

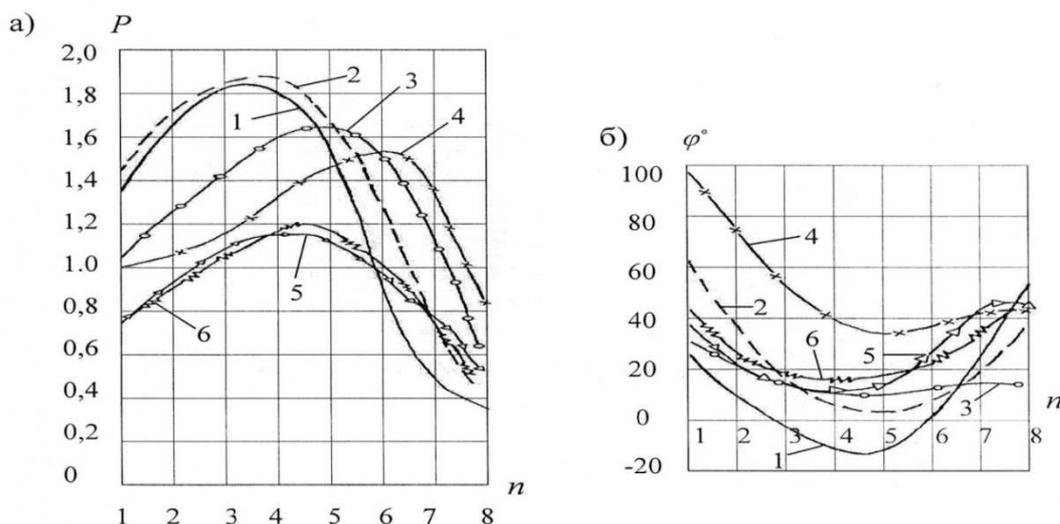


Рис. 8. Модуль и фаза давления звукового поля для разных значений  $\varphi$  при наличии реберного набора и центральном расположении антенны,  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$

Следующим фактором, потенциально влияющим на исследуемые характеристики, являются физические свойства материала пластины. Для количественной оценки этого влияния был проведен расчет  $P$  и  $\varphi^\circ$  для двух случаев, когда пластина выполнена из стали и алюминия. Результаты такого расчета приведены на рис. 7 для  $z_T = 0,125\lambda$  и  $\vartheta_0 = 90^\circ$  при центральном расположении антенны относительно пластины, толщина которой  $kh_1 = 0,54$ . Кривые 1 и 2 соответствуют  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  для стальной пластины, кривые 3 и 4 –  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  для алюминиевой пластины. Видно, что в зависимости от материала пластины размеры и количество противофазных участков на поверхности антенны может изменяться, и различия значений  $P$  также сохраняются.

Оценим, далее, влияние реберного набора, расположенного на пластине со стороны воздуха, на распределение значений  $P$  и  $\varphi^\circ$  вдоль образующей антенны. Прежде всего предположим, что ребра расположены только вдоль одной из сторон стальной пластины, например, вдоль стороны  $L_x$ . Пусть высота этих ребер равна  $10kh_1$ . Выявление влияния такого реберного набора может быть проведено на основе анализа кривых, приведенных на рис. 8, полученных при центральном расположении антенны,  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$ .

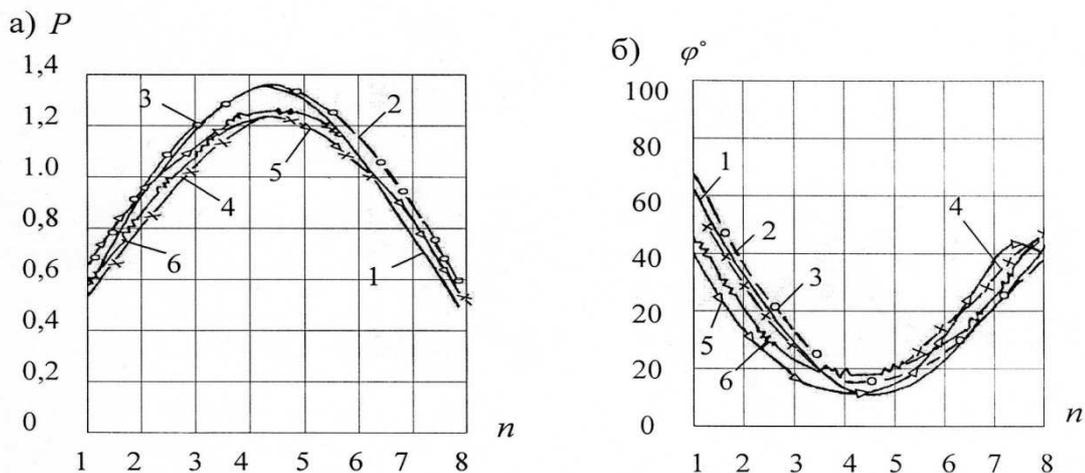


Рис. 9. Модуль и фаза давления звукового поля для разных значений  $\varphi$  при наличии реберного набора и центральном расположении антенны,  $z_T = 1\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$

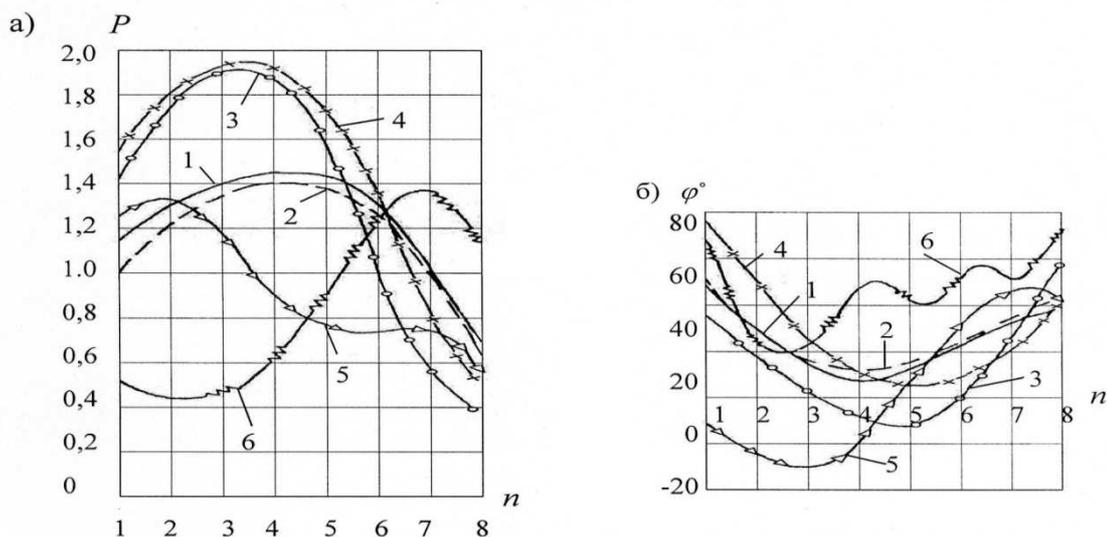


Рис. 10. Модуль и фаза давления звукового поля при центральном расположении антенны в зависимости от мерности реберного набора для разных значений  $\varphi$ ,  $z_T = 0,125\lambda$ ,  $\vartheta_0 = 90^\circ$

Кривые 1 на этих рисунках соответствуют сечению по  $\varphi_2$ , кривые 2 –  $\varphi_2$  при наличии ребер, кривые 3 –  $\varphi_1$ , кривые 4 –  $\varphi_2$  при отсутствии ребер, кривые 5 – при отсутствии пластины на гладкой границе, кривые 6 – в свободной среде. Как следует из анализа, присутствие ребер существенно изменяет амплитудно-фазовую структуру поля на поверхности антенны

по сравнению со случаем их отсутствия. Увеличение заглубления антенны до значения  $z_T = 1\lambda$  приводит к результатам, представленным на рис. 9 для  $\vartheta_0 = 90^\circ$ .

Нумерация и принадлежность кривых на котором аналогична принятой на рис. 8. Видно, что в этом случае при  $\vartheta_0 = 90^\circ$  роль ребер уменьшилась по сравнению с предыдущим случаем. В то же время расчеты показывают, что при  $\vartheta_0 = 60^\circ$  эта роль остается заметной.

В заключение выполним оценки влияния мерности реберного набора и физических свойств материала ребер на исследуемые характеристики. Некоторые результаты исследований, выполненных в этих направлениях, приведены на рис. 10 для центрального расположения антенны относительно стальной пластины толщиной  $kh_1 = 0,27$ ;  $z_T = 0,125\lambda$  и  $\vartheta_0 = 90^\circ$ . Кривые 1 на этом рисунке соответствуют  $\varphi_1$ , кривые 2 –  $\varphi_2$  для случая двумерного реберного набора (ребра параллельны сторонам  $L_x$  и  $L_y$ ); кривые 3 –  $\varphi_1$ ; кривые 4 –  $\varphi_2$  для одномерного реберного набора (ребра параллельны сторонам  $L_x$ ). Для кривых 1–4 высота ребер равна  $10kh_1$ . Кривая 5 на рис. 10 соответствует  $\varphi_1$ , кривая 6 –  $\varphi_2$  для двумерного реберного набора, в котором ребра, параллельные стороне  $L_x$ , выполнены из стали и имеют высоту  $1kh_1$  а ребра, параллельные стороне  $L_y$  выполнены из алюминия и имеют высоту  $10kh_1$ .

Из этого рисунка следует, что наличие реберного набора, его мерность, высота ребер и физические свойства их материала играют существенную роль в формировании тонкой структуры поля давления на поверхности антенны.

**Выводы.** Выполненный анализ с привлечением численных оценок показывает, что роль корпуса корабля, его взаимного расположения с антенной, толщины и физических свойств материала корпуса, наличие реберного набора, его мерность и параметры, характеризующие реберный набор является весьма существенной в формировании поля давления в акустической антенне корабельной ГАС. Более того, показано, что их комбинацией возможно обеспечить управление рассматриваемыми характеристиками антенны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дерепя А. В. Аналіз особливостей розміщення корабельних гідроакустичних станцій на носіях та можливостей аналітичної оцінки їх впливу на звукові поля станцій / А. В. Дерепя, О. Г. Лейко, О. В. Панченко // Зб. наук. праць / ЦНДІ ОВТ ЗС України. – Вип. 15. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2010. – С. 125–131. Інв. 10112.
2. Дерепя А. В. Властивості циліндричної гідроакустичної антени з екраном в присутності схвильованої морської поверхні / А. В. Дерепя, О. Г. Лейко // Зб. наук. праць / ЦНДІ ОВТ ЗС України. – Вип. 19. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2011. – С. 106–116. Інв. 10208.
3. Дерепя А. В. До визначення звукового поля гідроакустичної антени в присутності елементів корпусу надводного корабля / А. В. Дерепя. – Зб. наук. праць / Нац. універ. кораблебудування. – Вип. 2. – Миколаїв: Нац. універ. кораблебудування, 2011. – С. 122–129.

**Дерепя А.В., Лейко О.Г., Майборода О.Н.**

*У статті наведені результати досліджень кількісних оцінок значень модуля та фази тиску звукового поля на поверхні гідроакустичних антен, що розміщені в корпусі корабля, з врахуванням впливу корпусу корабля та його реберного набору.*

**Ключові слова:** границя розподілу середовищ, гідроакустична антена, діаграма направленості, пружна пластина, звуковий тиск.

**A.V. Derepa, O.G. Leyko, O.N. Mayboroda**

*The article contains the results from researches on quantitative assessments for values of module and pressure phase of sound field on surface of hydroacoustic antennas that are located inside the ship hull taking into consideration the effect of ship hull and its set of ribs.*

---

**Keywords:** *inter media boundary, hydroacoustic antenna, directional diagram, spring plate, sound pressure.*

УДК 535.563

**Федотов В.Г.**

## УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСІЇ ПРИРОДНОЇ ОПТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ВЕРДЕ КРИСТАЛІВ В ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ ТА ТЕМПЕРАТУРИ

*В статті описана лабораторна установка, розроблена на кафедрі природничих і технічних дисциплін КДАВТ, яка орієнтована на сферу майбутньої професійної діяльності студентів та проведення наукових досліджень.*

**Ключові слова:** *дисперсія, природна оптична активність, стала Верде, криостат, міст Уітстона.*

В лабораторних практикумах для дослідження обертання площини поляризації використовують кругові поляриметри [1, 2]. Але конструкція поляриметрів розрахована головним чином на дослідження оптично активної рідини. Більшість моделей призначається для дослідження розчинів цукру та випускаються під назвою цукрометрів.

В цій роботі розглянуто простий та достатньо точний візуальний метод вимірювання обертання площини поляризації кристалів, яким є спектроскопічний метод [3]. Суть метода полягає в тому, що біле світло, що проходить скрізь досліджуваний кристал, розташований поміж нерухомим поляризатором та аналізатором, який має можливість обертатися, пропускають потім через монохроматор УМ-2. В одержаному спектрі можна спостерігати темні смуги, що відповідають довжинам хвиль, напрямок коливань яких перпендикулярний до площини коливань в аналізаторі. Для точних вимірювань товщина досліджуваного кристала повинна бути такою, щоб у спектрі було видно декілька темних смуг, так як зі збільшенням числа смуг вони становляться більш вузькими та чіткішими.

Установка складається з джерела світла (рис. 1), збиральної лінзи  $L$ , поляризатора  $P$ , досліджуваного кристала  $K$ , монохроматора УМ-2 (1, 2, 3, 4), аналізатора  $A$ . Головка аналізатора складається з нерухомого лімба з градусною шкалою  $\Gamma$  та ноніуса  $H$ , що обертається разом з аналізатором. Ціна поділки нерухомого лімба дорівнює  $1^\circ$ . Ноніус має 10 поділок і його точність  $0,1^\circ$ . Світло після аналізатора потрапляє на вхідну щілину монохроматора. Вихідна щілина монохроматора замінена зоровою трубою з окуляром, тому положення темних смуг на фоні спектра монохроматора можна визначити візуально відносно покажчика, вмонтованого в зорову трубу.

Спочатку, до внесення досліджуваного кристалу поміж аналізатором  $A$  та поляризатором  $P$ , вони знаходяться в схрещеному стані. По лімбі аналізатора визначаємо кут  $\alpha_0$ . Щоб вимірити кут обертання площини поляризації в досліджуваному препараті для деякої довжини хвилі, встановлюють на відповідну цій довжині хвилі поділку барабана монохроматора, а потім, спостерігаючи спектр, обертають аналізатор до тих пір, доки темні смуги співпадуть з покажчиком, що знаходиться в полі зору окуляра.

Взявши відлік по лімбі аналізатора  $\alpha_1$ , вилучають досліджуваний кристал. Різниця двох відліків  $(\alpha_1 - \alpha_0)$  дає величину обертання поляризації в досліджуваному зразку для даної довжини хвилі.