

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).110-116](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).110-116)**А. В. ДЕРЕПА**, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)**О. Г. ЛЕЙКО**, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>**О. І. ДРОЗДЕНКО**, кандидат технічних наук,
доцент<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>(Національний технічний університет
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»)**А. О. СВЯТНЕНКО**, начальник науково-
дослідного відділу<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>(Державне підприємство «Київський науково-
дослідний інститут гідроапаратури», м. Київ)

Механічна міцність гідроакустичних циліндричних випромінювачів з внутрішніми екранами

Проведені дослідження частотних і кутових характеристик амплітуд коливальних швидкостей циліндричних випромінювачів у внутрішньому об'ємі яких, заповненому рідиною, розміщені акустичні екрани в залежності від відстані між п'єзокерамічною оболонкою випромінювачів та екраном. Здійснена оцінка на їх основі можливостей механічної міцності випромінювачів. Показано, що така технічна реалізація гідроакустичних випромінювачів створює ряд переваг, цікавих з точки зору підвищення ефективності гідроакустичних станцій. Встановлено, що коливальна швидкість реальних джерел звуку суттєво залежить як від внутрішнього імпедансу, так і від реакції зовнішнього оточуючого середовища, оскільки джерела звуку відзначаються кінцевими значеннями свого внутрішнього механічного опору. Тому зміною звукового поля у внутрішній порожнині перетворювача можливо управляти параметрами його механічного поля. При роботі гідроакустичних станцій в режимі випромінювання в області низькочастотних резонансів екранованих перетворювачів суттєво збільшується небезпека механічного руйнування перетворювачів гідроакустичних антен в зв'язку з різким збільшенням амплітуд їх коливальних швидкостей та появою можливості перевищення амплітудами коливальних швидкостей значень, допустимих з точки зору механічної міцності. Ця обставина повинна враховуватись при побудові генераторних пристроїв трактів випромінювання гідроакустичних станцій.

Ключові слова: гідроакустична станція, акустичний екран, циліндричний випромінювач.

Проведены исследования частотных и угловых характеристик амплитуд колебательных скоростей цилиндрических излучателей во внутреннем объеме которых, заполненному жидкостью, размещены акустические экраны в зависимости от расстояния между пьезокерамической оболочкой излучателей и экраном. На их основе проведена оценка возможностей механической прочности излучателей. Показано, что такая техническая реализация гидроакустических излучателей создает ряд преимуществ, интересных с точки зрения повышения эффективности гидроакустических станций. Установлено, что колебательная скорость реальных источников звука существенно зависит как от внутреннего импеданса, так и

от реакции внешней окружающей среды, поскольку источники звука отличаются конечными значениями своего внутреннего механического сопротивления. Поэтому изменением звукового поля во внутренней полости излучателя возможно управлять параметрами его механического поля. При работе гидроакустических станций в режиме излучения в области низкочастотных резонансов экранированных излучателей существенно увеличивается опасность разрушения излучателей гидроакустических антен в связи с резким увеличением амплитуд их колебательных скоростей и появлением возможности превышения амплитудами колебательных скоростей значений, допустимых по механической прочности. Это обстоятельство должно учитываться при создании генераторных устройств трактів излучения гидроакустических станций.

Ключевые слова: гидроакустическая станция, акустический экран, цилиндрический излучатель.

ВСТУП

Як відомо [1], під ефективністю гідроакустичних станцій (ГЛС) розуміється «перевищення звукового тиску переданого імпульсу на відстані 1 м від джерела над рівнем звукового тиску ехосигналу, що мінімально виявляється в даних умовах». Одними із основних факторів, що обмежують ефективність ГЛС, являються їх енергетичні можливості. В режимі випромінювання звуку ці можливості визначаються такими фізичними факторами як механічна динамічна міцність, електрична міцність, теплова міцність і кавітаційна міцність середовища, в умовах якого працюють гідроакустичні антени ГЛС. Аналіз досвіду експлуатації ГЛС [2-12] дозволяє стверджувати, що при побудові ГЛС із п'єзокерамічних випромінювачів слабкими елементами міцності їх гідроакустичних антен є п'єзокерамічні елементи випромінювачів. В першу чергу це обумовлено їх малою механічною міцністю на розрив. Особливістю такого крихкого матеріалу як п'єзокераміка [7, 8] полягає в тому, що його механічна міцність на розтягування $\sigma_{розт} = (1,7 \div 3) \cdot 10^3 \frac{H}{cm^2}$ на порядок менше механічної міцності на стискування $\sigma_{ст} = (35 \div 50) \cdot 10^3 \frac{H}{cm^2}$. В той же час в процесі випромінювання звукової енергії п'єзокерамічні елементи випромінювачів в кожному періоді випромінювання випробовують на собі механічні динамічні розтягування, величина яких в значній мірі визначається [6] амплітудою коливальної швидкості поверхні випромінювачів [6].

Відомо [5-8], що при побудові низькочастотних випромінюючих антен ГЛС доцільно реалізувати дві технічні вимоги. Перша з них полягає в тому, що енергетична ефективність режиму випромінювання ГЛС забезпечується тільки при умові роботи перетворювачів її гідроакустичної антени на частотах їх механічних резонансів. Друга вимога пов'язана з необхідністю зменшення хвильових розмірів випромінювачів ГЛС [9] для забезпечення вимоги формування заданих просторових вибірових властивостей ГЛС. В плані реалізації цієї вимоги певні перспективи отримує ідея побудови гідроакустичних випромінювачів у вигляді кругових п'єзокерамічних циліндрів з внутрішніми акустичними екранами.

Метою цієї роботи є дослідження частотних і кутових характеристик амплітуд коливальних швидкостей циліндричних випромінювачів з внутрішніми акустичними

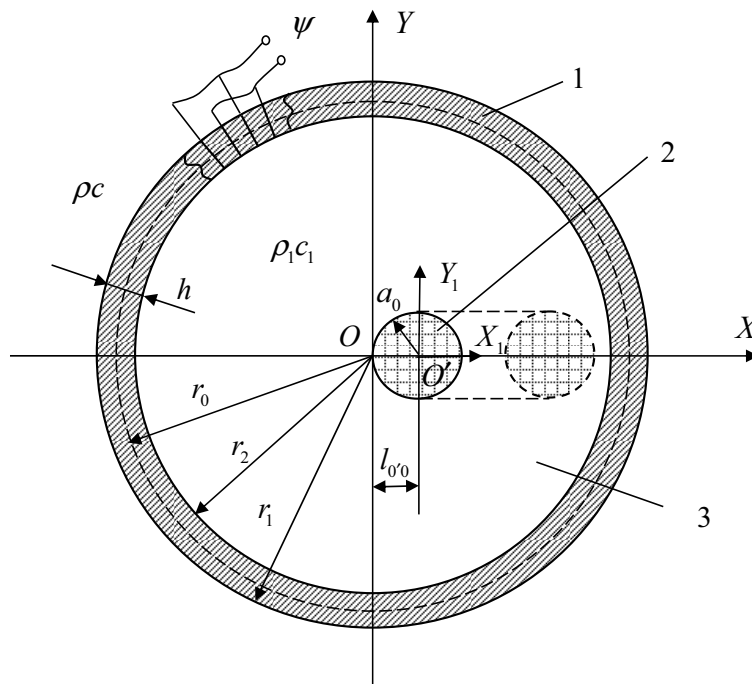


Рис. 1. Схема розміщення екрану у внутрішній порожнині оболонки

екранами в залежності від відстані між п'єзокерамічною оболонкою та екраном і оцінка на їх основі можливостей механічної міцності випромінювачів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянемо випромінювання звуку циліндричним п'єзокерамічним гідроакустичним перетворювачем (рис. 1). Він утворений із циліндричної оболонки 1 середнім радіусом r_0 товщиною h , циліндричного акустично м'якого екрану 2 зовнішнім радіусом a_0 і рідини 3, яка заповнює внутрішню порожнину оболонки 1. Відстань між поздовжніми вісями оболонки та екрану позначимо через $l_{0'0}$. П'єзокерамічна оболонка має окружну поляризацію, утворена із M жорстко склеєних між собою електрично паралельно включених призм і збуджується електричною напругою $\psi = \psi_0 e^{-i\omega t}$. Середовища зовні і всередині оболонки мають густину ρ і ρ_1 та швидкість звуку c і c_1 відповідно.

Аналітичні співвідношення, що описують процес випромінювання звуку таким перетворювачем і які визначають фізичні поля, що приймають участь в цьому процесі, наведені в роботі [14]. Використаємо ці співвідношення для кількісної оцінки механічних полів п'єзокерамічних перетворювачів з внутрішніми екранами.

Оскільки відомо [13], що ступінь порушення радіальної симетрії побудови випромінювача грає принципову роль в процесі перетворювання одного виду енергії в інші при випромінюванні або прийомі звуку, встановлення закономірностей змін параметрів екранованого перетворювача від величини відстані $l_{0'0}$ має важливе значення з точки зору фізичного розуміння роботи таких перетворювачів.

Аналіз частотних і кутових властивостей механічних полів екранованих випромінювачів в залежності від ступеню віддаленості екрану від випромінюючої

поверхні п'єзокерамічної оболонки виконані на основі великого об'єму чисельних результатів, одержаних для таких параметрів і характеристик випромінювачів: п'єзокераміка складу ЦТБС-3; $r_0 = 0,068$ м; $h = 0,008$ м; $a_0 = 0,2 r_0$; $\theta_{0'0} = 0^\circ$; $\rho c = \rho_1 c_1 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$; $\psi_0 = 200$ В; $l_{0'0} = 0$; $2a_0$; $r_2 - a_0 = 0,003$ м. Результати розрахунків частотних залежностей коливальних швидкостей наведені на рис. 2 і 3.

Аналіз і співставлення між собою графіків на рис. 2 дозволяє встановити закономірності поведінки коливальної швидкості при зміні ступеня несиметричності схеми побудови екранованого перетворювача.

При відсутності екрану частотна залежність амплітуди коливальної швидкості являє собою двогорбу криву, яка має два резонанси. Перший з них відповідає механічному резонансу п'єзокерамічної оболонки перетворювача у вакуумі. Другий резонанс визначається пружними властивостями рідини, яка заповнює внутрішній об'єм оболонки.

Як відомо [13], наявність рідини всередині оболонки може приводити як до зниження, так і до підвищення резонансної частоти оболонки з рідиною. Така поведінка визначається хвильовими розмірами оболонки на її резонансній частоті. Зокрема, оскільки $k_1 r_0 < 2,4$, то наявність рідини в оболонці приводить до збільшення її резонансної частоти. Наведене додатково свідчить про те, що, оскільки реальні джерела звуку відзначаються кінцевими значеннями свого внутрішнього механічного опору, то їх коливальна швидкість суттєво залежить як від внутрішнього імпедансу, так і від реакції зовнішнього оточуючого середовища. Тому зміною звукового поля у внутрішній порожнині перетворювача можливо управляти параметрами його механічного поля. Таку можливість дає введення до складу перетворювача внутрішнього екрану, що і демонструють криві на рис. 2.

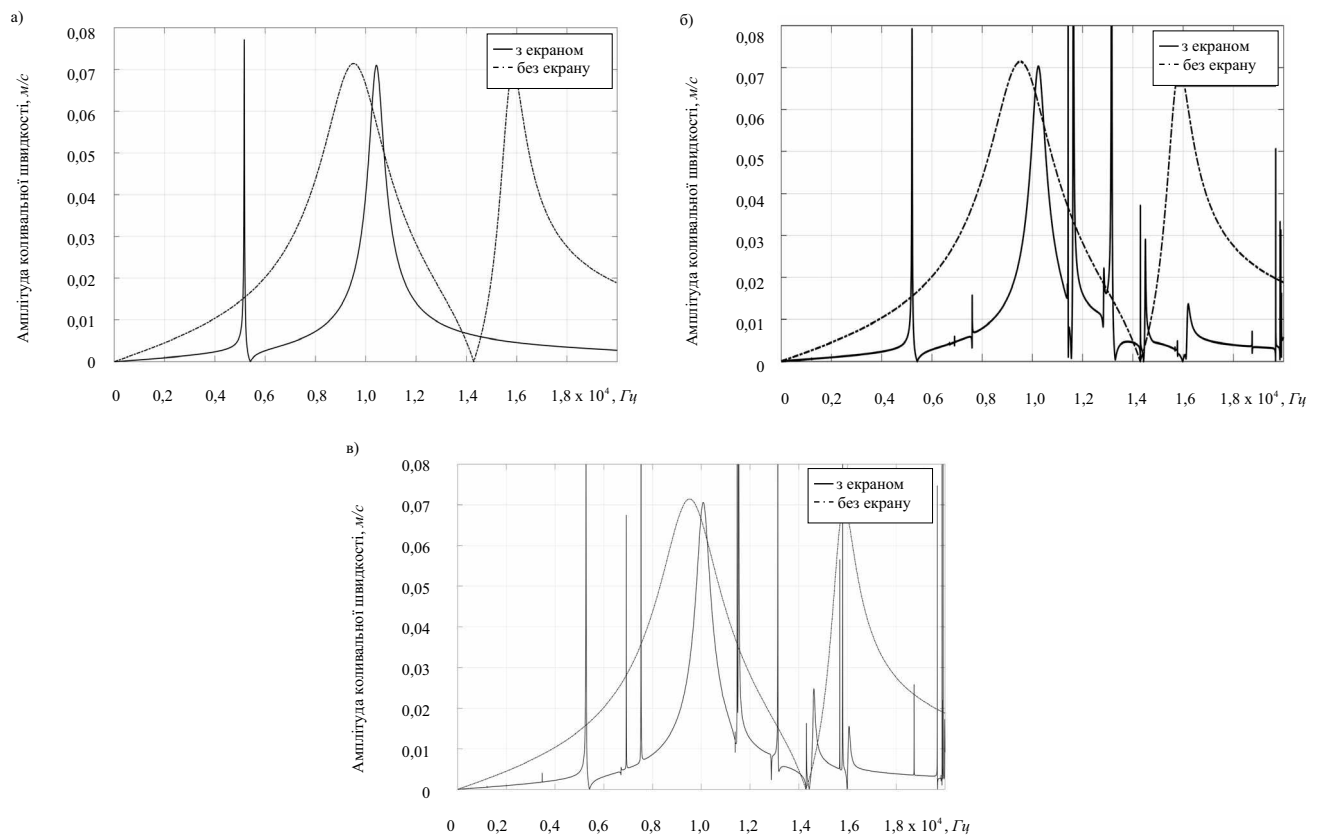


Рис. 2. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $l_{00} = 0$ (а); $l_{00} = 2a$ (б); $l_{00} = r_2 - a_0 - 0,003$ м (в)

При розміщенні екрану по центру п'єзокерамічної оболонки (рис. 2 а) радіальна симетрія побудови випромінювача зберігається, як і у випадку відсутності екрану. В цьому випадку двогорбість частотної залежності амплітуди випромінювача зберігається, але хід кривої частотної залежності змінюється.

По-перше, механічний резонанс самої п'єзокерамічної оболонки зростає, а сама резонансна область її значно (в 4-5 разів) звужується. Це обумовлено впливом імпедансу внутрішнього шару рідини, який на цих частотах має пружний характер.

По-друге, другий резонанс механічного поля випромінювача суттєво змінює свої чисельні значення і переміщується в область низьких частот. Фізичною причиною цього є те, що у випадку м'якості екрануючого циліндра пружні властивості рідини між оболонкою та екраном себе не проявляють. Зміни об'єму шару рідини в області відносно низьких частот здійснюються за рахунок переміщення цього шару як єдиного цілого. Завдяки цьому реакція цього шару рідини має масовий характер, а, відтак, друга власна частота випромінювача зменшується. Зауважимо, що вплив цього встановленого ефекту має суттєві значення (більш, ніж в 3 рази відносно випадку відсутності екрану).

Зміщення екрану від центру п'єзокерамічної оболонки (збільшення значення l_{00}) порушує радіальну симетрію побудови екранованого випромінювача. Аналіз графіків на рис. 2 б і 2 в свідчить про те, що в механічному полі циліндричного п'єзокерамічного

перетворювача з порушеною радіальною симетрією, при збереженні при цьому радіальної симетрії збуджувального перетворювач електричного поля, з'являється цілий спектр нових власних частот. Кількість цих нових резонансних частот та їх чисельні значення залежать від кількісних значень відстані l_{00} . При цьому має місце наступна якісна закономірність. При збільшенні величини l_{00} , тобто більшого порушення радіальної симетрії перетворювача, чисельні значення власних частот, в тому числі і власної частоти п'єзокерамічної оболонки, зміщуються в сторону менших значень.

Є кілька фізичних причин появи встановлених закономірностей поведінки механічних полів перетворювачів з внутрішніми екранами. До них відносяться:

- поява стоячих хвиль в зазорі між циліндричною оболонкою та циліндричним екраном, які є результатом взаємодії прямої хвилі, випромінюваної оболонкою, і відбитою екраном хвилі;

- поява в механічному полі перетворювача мод коливань, наступних за нульовою модою, у перетворювачів з порушеною радіальною симетрією побудови при збереженні такої симетрії їх електричного збудження.

Перша фізична причина пояснює умови появи нових власних частот механічного поля перетворювача в тих частотних областях, де хвильова ширина зазору між ділянкою поверхні п'єзокерамічної оболонки та екраном досягає значень, близьких 0,25. В цьому випадку імпеданс перетворювача практично повністю визначається хвильовими процесами, які мають місце на цих

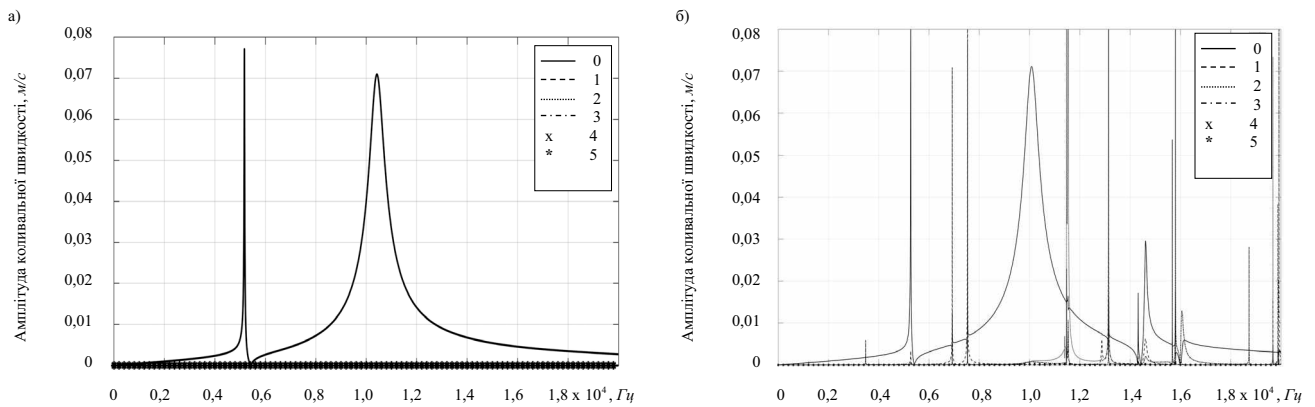


Рис. 3. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $a_0 = 0,2 r_0$ (а); $l_{00} = 0$ (а); $l_{00} = 2a$ (б)

ділянках зазору. Зауважимо при цьому, що ці причини пов'язані лише з нульовою модою коливань перетворювача. Свідченням цього є графіки на рис. 3.

Вплив на механічні поля другої фізичної причини демонструють графіки на рис. 3.

Дійсно, аналіз складу мод коливань п'єзокерамічної оболонки екранованого перетворювача показує, що при збереженні радіальної симетрії його побудови (рис. 2 а і 3 а) в його оболонці збуджується лише нульова мода коливань. Порушення радіальної симетрії обумовлює появу наступних за нульовою мод коливань. При цьому має місце ряд закономірностей.

По-перше, кількість заново генерованих мод збільшується із збільшенням відстані l_{00} , що є характеристикою збільшення несиметричності конструкції перетворювача.

По-друге, при збільшенні величини l_{00} власні резонанси додаткових мод зміщуються в сторону низьких частот.

По-третє, при збільшенні величини l_{00} амплітуди коливальних швидкостей окремих мод стають порівняними або навіть суттєво перевищують амплітуди нульової моди не тільки на частотах власних резонансів цих мод, але і на власному резонансі нульової моди. По-четверте, резонансні смуги коливальних швидкостей додаткових мод коливань суттєво (в кілька десятків разів) менші власної резонансної смуги оболонки перетворювача.

Порівняння частотних залежностей амплітуд коливальних швидкостей екранованого перетворювача (рис. 2) і мод його коливань (рис. 3) свідчить про те, що багатомодовість екранованого перетворювача обумовлюється частотною поведінкою коливної швидкості як його нульової моди, так і заново генерованих мод, наступних за нульовою.

Дослідимо тепер кутові залежності коливної швидкості екранованого перетворювача. Практичний

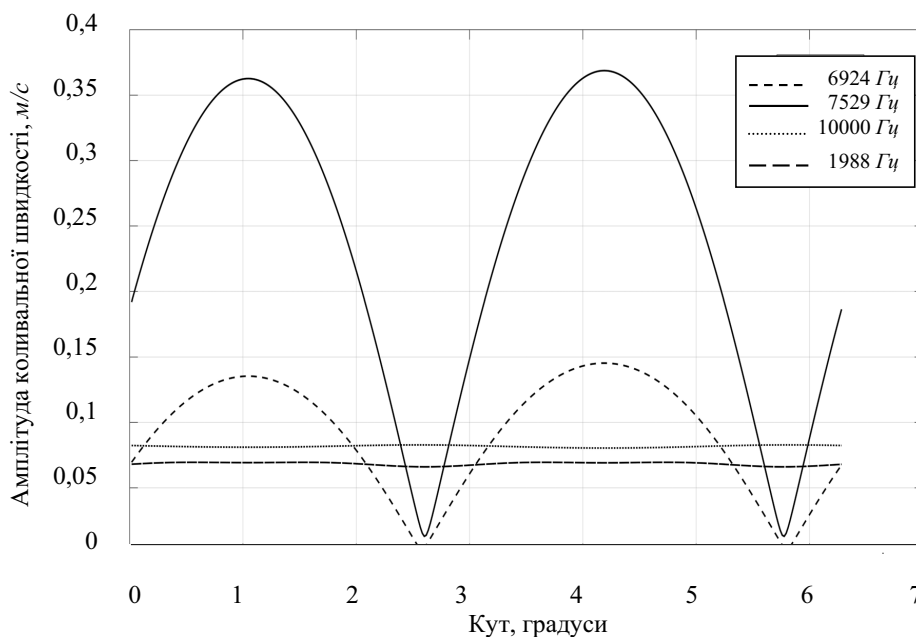


Рис. 4. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $l_{00} = r_2 - a_0 - 0,003 \text{ м}$ на різних власних резонансних частотах

інтерес представляють такі залежності на заново генерованих власних частотах такого перетворювача. Це обумовлено тим, що, як видно з графіків на рис. 4, амплітуди коливальної швидкості на цих частотах набувають великих значень.

Ці значення коливальної швидкості W можуть досягати або перевищувати гранично допустимі значення коливальної швидкості $w_{доп}$ для досліджуваного перетворювача, виходячи із допустимих механічних напружень в п'єзокерамічному матеріалі оболонки перетворювача з урахуванням відповідних коефіцієнтів запасу міцності [6]. Відомо, що такі перевищення $w_{доп}$ обумовлюють механічні руйнування п'єзокерамічної оболонки перетворювача.

Аналіз результатів розрахунків, наведений на рис. 4 для варіанту найбільшого порушення радіальної симетрії побудови екранованого перетворювача, свідчить про таке.

По-перше, максимальні амплітуди коливальних швидкостей, які перетворювач набуває в області низьких частот, в 2-6 разів перевищують амплітуду коливальної швидкості п'єзокерамічної оболонки на її власній частоті. І це при умові сталості збуджуючої електричної напруги. По-друге, саме на цих низьких частотах екранований перетворювач втрачає однорідність розподілу коливальної швидкості по своїй випромінюючій поверхні. Цей розподіл набуває характеру осциляцій і є найбільш загрозливим для механічної міцності випромінювачів.

Цікавим є те, що поява осциляцій на цих частотах обумовлена певними фізичними причинами. На частотах 6924 Гц і 7529 Гц збудження осцилюючої моди досягнуто за рахунок «захоплення» частини енергії, яка «закачується» в екранований перетворювач на нульовій моді коливань його п'єзоелектричної оболонки, наступними, заново генерованими формами коливань, зокрема першою модою.

ВИСНОВКИ

Наведені результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки, які важливі не тільки для забезпечення механічної міцності випромінювачів, але і для підвищення енергетичної ефективності ГЛС, гідроакустичні антени яких створені на основі циліндричних перетворювачів з внутрішніми екранами.

По-перше, введення до складу циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів несиметрично розміщених м'яких циліндричних акустичних екранів розширює можливості вибору та використання в режимі випромінювання не однієї, як було раніше, а декількох резонансних частот. Особливо цікавим в цьому плані являється встановлений в результаті досліджень факт появи в спектрі механічного поля екранованого випромінювача, при незмінності його розмірів, резонансних частот, в 2-5 разів менших від резонансної частоти циліндричних випромінювачів без внутрішніх екранів. Технологічна реалізація цих результатів дозволить значно підвищити енергетичну ефективність ГЛС.

По-друге, встановлено, що амплітуди резонансного випромінювання на заново генерованих частотах

механічних резонансів екранованих випромінювачів в 3-5 разів вищі, ніж амплітуди такого випромінювання на нульовій моді неекранованих випромінювачів, які є основним типом гідроакустичних перетворювачів в сучасних ГЛС. Природно, що ефективність ГЛС на основі екранованих випромінювачів буде вище, ніж існуючих ГЛС.

По-третє, в діапазоні низьких резонансних частот резонансні області випромінювачів з внутрішніми екранами є більш вузькими в порівнянні з неекранованими випромінювачами. Цю обставину необхідно враховувати при реалізації режимів випромінювання ГЛС з використанням коротких імпульсних сигналів.

В-четвертих, при роботі ГЛС в режимі випромінювання в області низькочастотних резонансів екранованих перетворювачів суттєво збільшується небезпека механічного руйнування перетворювачів гідроакустичних антен в зв'язку з різким збільшенням амплітуд їх коливальних швидкостей та появою можливості перевищення амплітудами коливальних швидкостей значень, допустимих з точки зору механічної міцності. Ця обставина повинна враховуватись при побудові генераторних пристроїв трактів випромінювання ГЛС.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Бальян Р. Х., Батаногов Э. В. Терминологический словарь-справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение, 1989. 386 с.
2. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2005. 410 с.
3. Дерепя А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 7. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бурого, 2014. 424 с.
4. Дерепя А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 8. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бурого, 2016. 400 с.
5. Лейко А. Г., Дрозденко А. И. Излучение максимальной акустической мощности системами гидроакустических преобразователей с окружной поляризацией. Микросистемы, электроника и акустика. Киев: НТУУ КПИ, 2018, т. 23, № 1. С. 58-65.
6. Конструирование электроакустических приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій / В. С. Дідковський та ін. Х.: ФПП Амелянчик, 2013. 390 с.
7. Богородский В. В. Подводные электроакустические преобразователи. Расчет и проектирование. Л.: Судостроение, 1983. 315 с.

8. Евтютов А. П., Колесников А. Е., Корепин Е. А. Справочник по гидроакустике. Л. : Судостроение, 1988. 344 с.
9. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. Л. : Судостроение, 1984. 304 с.
10. Aronov, B. S. (2006). Experimental methods for investigating the acoustical interaction between transducers, J. Acoust. Soc. Am. 119 (6), 3822–3830.
11. Aronov, B. S. (2003). Energy analysis of a piezoelectric body under nonuniform deformation, J. Acoust. Soc. Am. 113, 2638–2646.
12. Aronov, B. S. (2005). The energy method for analyzing the piezoelectric electroacoustic transducers, J. Acoust. Soc. Am. 117, 210–220.
13. Гринченко В. Т., Вовк И. В., Маципура В. Т. Волновые задачи акустики: монография. Киев: Интерсервис, 2013. 572 с.
14. Свойства цилиндрических гидроакустических преобразователей с внутренними податливыми экранами / А. В. Дерепя и др. // Озброєння та військова техніка. Киев: ЦНІИ ВВТ ВС України, 2018. Вып. 4(20). С. 40–46.
- station - surface ship” system with variable depth antennas]. Publ. Dmytryya Buraho, K. 400 p.
5. Lejko, A. G., and Drozdenko, A. I. (2018), «Izluchenie maksimal’noj akusticheskoy moshhnosti sistemami gidroakusticheskikh preobrazovatelej s okruzhnoj poljarizaciej» [Radiation of maximum acoustic power by hydroacoustic transducer systems with peripheral polarization]. Mikrosystems, elektronics and acoustic. K. T. 23, No 1. Pp. 58–65.
6. Didkovs’kyj, V. S., Poroshyn, S. M., Lejko, O. H., Lejko, N. O., and Drozdenko, O. I. (2013), «Konstruyuvannya elektroakustychnyx pryladiv i system dlya mul’tymedijnyx akustychnyx texnologij» [Designing of electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technologies]. Amelyanchyk, Xarkiv. 390 p.
7. Bogorodskoyi, V. V. (1983), «Podvodnye jelektroakusticheskie preobrazovateli. Raschet i proektirovanie: spravochnik» [Underwater electroacoustic transducers. Calculation and design]. Sudostroenie, Leningrad. 315 p.
8. Evtjutov, A. P., Kolesnikov, A. E. and Korepin, E. A. (1988), «Spravochnik po gidroakustike» [Handbook of hydroacoustics]. Sudostroenie, Leningrad. 344 p.
9. Smaryshev, M. D. and Dobrovolskiy, Ju. Ju. (1984), «Spravochnik po raschetu napravlennykh svoystv gidroakusticheskikh antenn» [Handbook for the calculation of directional properties of hydroacoustic antennas]. Sudostroenie, Leningrad. 304 p.
10. Aronov, B. S. (2006). Experimental methods for investigating the acoustical interaction between transducers, J. Acoust. Soc. Am. 119 (6), 3822–3830.
11. Aronov, B. S. (2003). Energy analysis of a piezoelectric body under nonuniform deformation, J. Acoust. Soc. Am. 113, 2638–2646.
12. Aronov, B. S. (2005). The energy method for analyzing the piezoelectric electroacoustic transducers, J. Acoust. Soc. Am. 117, 210–220.
13. Grinchenko, V. T., Vovk, I. V. and Macipura, V. T. (2013), «Volnovye zadachi akustiki» [Wave acoustics tasks]. Interservis, K. 572 p.
14. Derepa, A. V., etc. (2018), «Svoystva cilindricheskikh gidroakusticheskikh preobrazovatelej s vnutrennimi podatlivymi jekranami» [Properties of cylindrical sonar transducers with flexible internal screens]. Weapons and military equipment. K. No. 4(20). Pp. 40–46.

REFERENCES

1. Bal’jan, R. H. and Batanogov, Je. V. (1989), «Terminologicheskij slovar’-spravochnik po gidroakustike» [Technical dictionary handbook of hydroacoustics]. Sudostroenie, Leningrad, 386 p.
2. Koryakyn, Yu. A., Smyrnov, S. A. and Yakovlev, H. V. (2005), «Korabelnaya gidroakusticheskaya tekhnika: sostoyaniye y aktualnyy problemy» [Ship sonar technology, condition and actual problems]. Nauka, St. Petersburg. 410 p.
3. Derepa, A. V., Leyko, A. H. and Melenko, Yu. Ya. (2014), «Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 7. Kompleksnaya systema «hydroakusticheskoye vooruzheniye – nadvodnyy korabl». Problemnyye aspekty systemy «hydroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl» s antennoy, razmeshchennymi v korpuse korablya» [Fundamentals of military technical research. Theory and applications. T. 7. Integrated system «hydroacoustic armament - surface ship.» Problem aspects of the “hydroacoustic station - surface ship” system with antennas located in the ship hull]. Publ. Dmytryya Buraho, K. 424 p.
4. Derepa, A. V., Leyko, A. H. and Melenko, Yu. Ya. (2016), «Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 8. Kompleksnaya systema «hydroakusticheskoye vooruzheniye – nadvodnyy korabl». Problemnyye aspekty systemy «hydroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl» s antennoy peremennoy hlubiny» [Fundamentals of military technical research. Theory and applications. V. 8. The integrated system “hydroacoustic armament - surface ship”. Problem aspects of the “hydroacoustic

Відомості про авторів:

Дерепя Анатолій Войткович

доктор технічних наук

старший науковий співробітник

провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку морських озброєнь науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

e-mail: derepaan@i.ua

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук
професор

професор кафедри акустики та акустoeлектроніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Дрозденко Олександр Іванович

кандидат технічних наук
доцент

доцент кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного
технічного університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

e-mail: drozdenko@i.ua

Святненко Андрій Олегович

начальник науково-дослідного відділу

Державного підприємства «Київський науково-дослідний
інститут гідроапаратури»

<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

Information about the authors:**Derepa Anatolii**

Doctor of Technical Sciences
Senior Research

Leading researcher of the Scientific Research Department
Navy Armament of the Scientific Research Management Navy
Armament and Equipment Research Directorate of the Central
Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
of the Armed Forces of Ukraine.
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

e-mail: derepaan@i.ua

Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences
Professor

Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of
the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute”

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Drozdenko Oleksandr

Candidate of Technical Sciences
Senior Lecturer

Senior Lecturer of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics
of the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky
Kyiv polytechnic institute”

<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

e-mail: drozdenko@i.ua

Svyatnenko Andriy

Chief of Scientific Research Department

State Enterprise «Kyiv Scientific Research Institute of
Hydrodevices»,

<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 03.06.2019 р.

Рецензент О. В. Коржик, д-р техн. наук, професор
(Національний технічний університет «Київський полі-
технічний інститут» імені Ігоря Сікорського, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>

Рецензент О. О. Расстригін, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

Рецензент В. В. Зубарєв, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>