

## Краткие сообщения

УДК 539.1

### Анализ закономерностей формирования полей плоской акустической волной криволинейной системой пьезокерамических цилиндрических преобразователей

**И.В. Кандрачук**, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр-т Победы, 37, г. Киев-56, 03056, Украина

Выполнен анализ процесса взаимодействия акустических волн криволинейными гидроэлектродупругими системами тонкостенных пьезокерамических цилиндрических преобразователей, содержащих различные экранирующие устройства и без экрана, с учетом связанности акустоэлектро-механических полей преобразователей и взаимовлияния многократно отраженных волн всеми элементами системы. Библ. 6.

**Ключевые слова:** цилиндрический пьезокерамический преобразователь, акустический экран, электро-акустические антенны, рассеяние акустических волн, звуковое поле.

#### Введение

Криволинейные антенные решетки, образованные из круговых цилиндрических пьезокерамических преобразователей, относятся к антеннам, которые нашли наиболее широкое применение как в подводной электроакустической аппаратуре и устройствах, так и в другом оборудовании акустической техники, что обусловлено возможностями реализации различных режимов работы гидроакустических станций, дефектоскопов, эхотомоскопов, ультразвуковых очистительных устройств и т.п.

Поэтому разработка методов расчета таких антенн, которые давали бы возможность учитывать наиболее важные особенности антенн и преобразователей, и исследование на их основе закономерностей формирования всех физических полей, которые взаимодействуют в антеннах, остается актуальным вопросом современной акустики. Их решение позволяет получать более надежную и обширную информацию об особенностях процессов, которые происходят, и на основе этой информации ускорять и удешевлять этапы проектирования антенн, и оптимизировать параметры антенн в каждом конкретном случае.

#### Анализ использования различных типов экранов в криволинейных системах

Взаимодействие плоских акустических волн с круговой системой, образованной из цилиндрических пьезокерамических преобразователей и экрана произвольной акустической жесткости было рассмотрено в работах [1,2]. Здесь исследуются динамические процессы в гидроэлектродупругой системе, состоящей в общем случае из произвольного числа погруженных в акустическую среду тонкостенных цилиндрических пьезокерамических преобразователей, оси которых являются образующими некоторой воображаемой цилиндрической поверхности (круговая цилиндрическая антенная решетка). Внутри решетки находится еще одна не перемешивающаяся с внешней акустической средой (экран произвольной акустической жесткости), которая заполняет цилиндрический объем. Система возбуждается установившейся во времени плоской волной давления. Преобразователи поляризованы в радиальном направлении и могут иметь закороченные, разомкнутые и замкнутые через нагрузочное сопротивление электроды.

В статье [1] особое внимание уделено колебаниям системы пьезокерамических цилиндрических оболочек с произвольной электрической нагрузкой и экраном произвольной акустической жесткости при возбуждении системы плоскими волнами. Дана постановка задачи и изложен метод решения рассматриваемой задачи при строгом учете, в рамках выбранных моделей (для оболочек – гипотез Кирхгофа-Лява, а для жидкостей – акустического приближения), взаимного влияния в системе преобразователей и внутреннего акустического экрана и акустических, механических и электрических полей в ее преобразователях. На основании проведенных численных исследований дан анализ динамического поведения рассматриваемой гидроэлектродупругой системы при замыкании электродов преобразователей через

нагрузочные сопротивления и наличии внутри круговой антенной решетки акустического «мягкого» или «жесткого» экранов.

Физические характеристики акустических, механических и электрических полей гидроэлектроупругих криволинейных систем, образованных из воздухозаполненных пьезокерамических преобразователей и экранов с предельными жесткостными свойствами во внутренней полости систем рассмотрены в статье [2]. Проведен анализ результатов численного моделирования с применением полученных в работе [1] аналитических выражений. С учетом обширного численного материала, полученного в ходе выполнения расчетов, выявлены и представлены графически наиболее типичные результаты.

На основании результатов исследований, представленных в вышеизложенных работах можно сделать следующие выводы и сформулировать рекомендации для проектирования гидроэлектроупругих криволинейных акустических систем.

Формирование полей криволинейными системами с акустическим экраном осуществляется двумя видами взаимодействий тел по акустическому полю – взаимодействиями между преобразователями и экраном и взаимодействиями между самими преобразователями. Превалирующая роль в формировании полей принадлежит взаимодействию между преобразователями и экраном. Это позволяет управлять формируемыми полями путем соответствующего выбора типа экрана, его геометрии и взаимного расположения системы преобразователей и экрана. При этом, влияние взаимодействия между преобразователями и экраном проявляется во всем диапазоне частот. Влияние же взаимодействия преобразователей наиболее сильно проявляется только в области вблизи их резонансных частот. Воздействие экрана на формируемые поля значительно меньше, чем в отсутствие в составе систем акустического экрана.

В случае криволинейных систем с экраном механические поля преобразователей представляют собой наложение на упругие перемещения поверхностей их оболочек поступательных перемещений преобразователей как «твердых» тел. При этом введение в состав систем экранов существенно изменяет механические поля преобразователей по сравнению с системами без экранов. В частности, если для дуговых систем с податливым экраном колебания преобразователей можно определить как осциллирующие, то для таких же систем с жестким экраном их следует отнести к колебаниям

«кардиоидного» типа, при которых на одной половине поверхности преобразователя преобладают максимальные значения, а на другой – минимальные.

Наличие экрана в составе криволинейной системы усиливает угловую неравномерность электрических полей преобразователей по сравнению с такой же системой без экрана. При этом электрическое поле, например, дуговой решетки с экраном принципиально отличается от такового для решетки без экрана приобретением свойства однонаправленности. Замена податливого экрана в дуговой системе на жесткий приводит к некоторому увеличению тыльного лепестка диаграммы направленности, практически не отражаясь на ширине основного лепестка.

Вопрос взаимодействия плоских акустических волн с криволинейной системой пьезокерамических цилиндрических преобразователей, во внутренней полости которой расположен электроупругий цилиндрический экран детально изложен в работах [3,4].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Как и для решеток преобразователей с локально реагирующим экраном во внутренней полости установлена значительная роль упругого акустического экрана в формировании всех рассматриваемых физических полей решеток. Однако в отличие от локально реагирующего акустического экрана влияние упругого экрана в значительной мере определяется величиной отношения рабочей частоты падающей волны к резонансной частоте упругого экрана. В частности, при равенстве этих частот влияние упругого экрана сравнимо с влиянием податливого акустического экрана.

2. Введение в состав криволинейной системы упругого экрана слабо отражается на угловом распределении амплитуд рассеянного поля в дальней зоне системы. В то же время амплитуды давлений рассеянного поля на поверхности преобразователей приобретают сильно выраженную неоднородность, существенно изменяющуюся при изменении положения преобразователя в системе по отношению к направлению падающей плоской волны.

3. Для криволинейных систем преобразователей с упругим акустическим экраном во внутренней полости систем механические поля преобразователей представляют собою результат суперпозиции двух перемещений – упругих перемещений поверхностей оболочек преобразователей и поступательных перемещений преобразователей в целом как «твердых» тел.

Большей сложностью отличаются механические поля преобразователей, не лежащих симметрично вдоль направления прихода плоских волн на систему. Это обусловлено тем, что составляющие осцилляций оболочек вдоль перпендикулярных осей оказываются сравнимыми по величине.

4. Размещение преобразователей вблизи упругого экрана приводит к появлению ярко выраженной неоднородности в угловой зависимости электрического напряжения на выходе каждого преобразователя. В присутствии упругого экрана на частоте его пульсирующих колебаний преобразователи приобретают свойство однонаправленности.

### Выводы

Таким образом, в системах с акустическим экраном формирование полей определяется двумя видами взаимодействий элементов систем по акустическому полю – взаимодействием между преобразователями и экраном и взаимодействием собственно между преобразователями. Первый вид взаимодействия более сильный и его влияние проявляется во всем исследуемом частотном диапазоне. Влияние второго вида взаимодействия наиболее сильно проявляется в области резонансных частот. В системах с экраном уровень бокового рассеянного поля существенно выше, чем в системах без экрана. При этом имеющие место в системах без экрана большие уровни боковых лепестков, прилегающие к основному лепестку рассеяния, не наблюдаются. Противоположность предельных жесткостных свойств экрана проявляется в том, что в ближнем поле точки с максимальными амплитудами гидродинамических давлений располагаются на разных по отношению к экрану полуцилиндрах и жесткий экран обуславливает большую неравномерность поля в области низких частот.

Введение в состав систем акустического экрана существенно изменяет механические поля преобразователей по сравнению с системами без экрана, придавая им вид преимущественно односторонних перемещений с минимальными амплитудами со стороны экрана при податливом экране и со стороны, противоположной экрану, – при жестком экране. Наличие экрана в составе систем усиливает неравномерность углового распределения электрических полей преобразователей. При этом в круговых системах с экраном взаимодействие преобразователей между собой наиболее сильно проявляется в области резонансных частот и существенно

ослабевает, исчезая полностью при переходе в область более низких частот.

В отличие от систем без экрана [5,6] изменение конфигурации систем, содержащих упругий экран, слабо отражается на диаграммах рассеяния систем в дальней зоне. В то же время в ближней зоне наличие упругого экрана приводит к возникновению значительной неоднородности распределения амплитуд давления как в области резонансных частот преобразователей, так и в области резонансных частот упругого экрана.

Механические поля преобразователей в составе систем с упругими экранами [4] имеют такую же сложную картину, как и в системах без экранов [6]. При этом, если в области частот резонанса упругого экрана перемещения поверхностей преобразователей и экрана существенно отличаются между собой, то для частот, близких к резонансной частоте преобразователей, перемещения поверхностей всех тел системы имеют близкий характер.

Размещение упругой оболочки внутри систем приводит к существенному изменению угловых зависимостей электрических полей преобразователей и систем по сравнению с системами без экранов. При этом преобразователи в составе систем приобретают свойство однонаправленности не только в области резонансных частот преобразователей, но и в области резонансных частот упругого экрана.

### Литература

1. *Кандрачук И.В.* Взаимодействие плоской акустической волны с криволинейной системой, образованной из цилиндрических пьезокерамических преобразователей и экрана конечной звукопрозрачности // *Электроника и связь*. – 2007. – №2. – С. 72–78.
2. *Кандрачук И.В.* Физические закономерности взаимодействия плоской акустической волны с криволинейными решетками, образованными из цилиндрических преобразователей и податливого экрана // *Электроника и связь*. – 2007. – №5. – С. 77–83.
3. *Кандрачук И.В.* Взаимодействие плоских акустических волн с криволинейной системой пьезокерамических цилиндрических преобразователей, во внутренней полости которой расположен электроупругий акустический экран // *Электроника и связь*. – 2012. – №4. – С. 38–44.
4. *Кандрачук И.В.* Анализ свойств физических полей, создаваемых системами пьезокерамических цилиндрических преобразователей, расположенных вблизи акустического

- экрана в виде полого упругого цилиндрического тела. // *Электроника и связь*. – 2012. – №3. – С. 49–55.
5. *Лейко А.Г., Савин В.Г., Ткаченко В.П., Шамарин Ю.Е.* Закономерности плоской акустической волны с цилиндрической решеткой, состоящей из пьезокерамических цилиндрических преобразователей // *Акуст. вісн.*–2000.–Т.3,№1.–С.51-60.
6. *Лейко А.Г., Савин В.Г., Ткаченко В.П.* Взаимодействие плоской акустической волны с цилиндрической решеткой, состоящей из пьезокерамических цилиндрических преобразователей // *Акуст. вісн.*–1999.–Т.2,№2.– С.69-76.

УДК 539.1

## **Аналіз закономірностей формування полів плоскою акустичною хвилею криволінійною системою п'єзокерамічних циліндричних перетворювачів**

**І.В. Кандрачук**, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр-т Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056, Україна

**Виконаний аналіз процесу взаємодії акустичних хвиль криволінійними гідроелектропружними системами тонкостінних п'єзокерамічних циліндричних перетворювачів, що містять різні екрануючі пристрої, та без екрану, з урахуванням зв'язаності акустоелектромеханічних полів перетворювачів та взаємовпливу багатократно відбитих хвиль усіма елементами системи. Бібл. 6.**

**Ключові слова:** *циліндричний п'єзокерамічний перетворювач, акустичний екран, електроакустичні антени, розсіювання акустичних хвиль, звукове поле.*

УДК 539.1

## **Analysis of regularities of formation of a plane acoustic wave fields with curvilinear cylindrical piezoceramic transducers**

**I.V. Kandrarchuk**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute»,  
Peremohy str. 37, Kyiv-59, 03056, Ukraine

**The analysis of the process of interaction of acoustic waves with curved hidro electric resilient systems thin piezoceramic cylindrical transducers containing various screening devices, and without the screen, given coherence acoustic electric mechanical field converters and mutually reflected waves all elements of the system. Bibl. 6.**

**Keywords:** *cylindrical piezoelectric transducer, acoustic screen, electro-acoustic antenna, scattering of acoustic waves, the sound field.*

1. *Kandrarchuk I.V.* The interaction of a plane acoustic wave with a curvilinear system formed from cylindrical piezoceramic transducers and sound transparency of the final screen // *Electronics and Communication*. – 2007. – №2. – P. 72–78. (Ukr)
2. *Kandrarchuk I.V.* Physical laws of interaction of a plane acoustic wave with curved grating formed of cylindrical transducers and malleable screen // *Electronics and Communication*. – 2007. – №5. – P. 77–83. (Ukr)

3. *Kandrarchuk I.V.* Interaction of plane acoustic waves with curvilinear cylindrical piezoelectric transducers in the inner cavity which is electroelastic baffle // *Electronics and Communication*. – 2012. – №4. – P. 38–44. (Ukr)
4. *Kandrarchuk I.V.* Analysis of the properties of physical fields created systems of cylindrical piezoceramic transducers located near the baffle in the form of a hollow elastic cylinder body. // *Electronics and Communication*. – 2012. – №3. – P. 49–55. (Ukr)
5. *Leyko A.G., V.G. Savin, V.P. Tkachenko, Y.E. Shamarin.* Patterns of a plane acoustic wave with a cylindrical grating consisting of cylindrical piezoceramic transducers // *Acoustic bulletin* –2000.– Ch.3,№1.– P.51-60. (Ukr)
6. *Leyko A.G., V.G. Savin, V.P. Tkachenko.* The interaction of a plane acoustic wave with a cylindrical grating consisting of cylindrical piezoceramic transducers // *Acoustic bulletin* –1999.–Ch.2,№2.–P.69-76. (Ukr)

*Поступила в редакцию 18 ноября 2012 г.*