

УДК 534.222

## Снижение уровня шума машин и механизмов за счет использования пьезокерамических преобразователей

Мурадов И.Б., Крюков Д.Б., Казанцев И.А., Шаталов Н.В.

Работа посвящена вопросам снижения шума работающих машин и механизмов за счет прямого и обратного пьезоэффекта сегнетокерамических материалов. Предложена схема, при которой в местах расположения источников шумов создаются специальные кожухи с сегнетокерамическим покрытием, которые за счет прямого и обратного пьезоэффекта фиксируют акустический сигнал, с помощью встроенного микропроцессора анализируют его и генерируют в противофазе ответную акустическую волну. В качестве технологии создания сегнетокерамических покрытий применялось газодинамическое напыление. В данной статье рассмотрена зависимость акустической мощности от изменения площади электродного покрытия и напряжения поляризации. Для повышения эффективности снижения шума от работающих механизмов, в случае, когда их амплитудно – частотные характеристики сильно отличаются друг от друга, в том числе и по ширине преимущественных частот, предложена многосекционная конструкция сегнетокерамического слоя.

*Ключевые слова:* пьезоэффект, акустическая мощность, амплитудно – частотная характеристика, резонансная частота.

### Введение

Различные механические, аэродинамические и электромагнитные явления являются причиной возникновения шумов. Механические шумы возникают при работе различных машин и механизмов и вызваны трением и соударениями составляющих их деталей, ударными процессами, используемыми в производстве (ковка, штамповка) и рядом других факторов. Аэродинамические и гидродинамические шумы возникают при течении газов и жидкостей. Электромагнитные шумы обычно сопровождают работу различных электрических установок.

Основная цель работы – снижение шума работающих машин и механизмов за счет прямого и обратного пьезоэффекта сегнетокерамических материалов.

### Применение прямого и обратного пьезоэффекта в борьбе с шумом

Предложена схема, при которой в местах расположения источников шумов создаются специальные кожухи с сегнетокерамическим покрытием. Обладая прямым и обратным пьезоэффектом, они фиксируют полученный

акустический сигнал, с помощью встроенного микропроцессора анализируют его амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и генерируют в противофазе ответную акустическую волну. Их наложение на акустические волны источников шума позволит снизить, а при полной идентификации полностью исключить шумовые эффекты.

Был проведен ряд экспериментов по созданию подобных покрытий. Для создания сегнетокерамического слоя применялась технология холодного газодинамического напыления. Нанесение покрытий осуществляется высокоскоростным потоком частиц порошка, ускоряемых сверхзвуковой струей газа при температуре, существенно меньшей температуры плавления материала частиц. Следствием этого является отсутствие газовой выделения (порообразования) и окислительных процессов.

Акустическая мощность излучения сегнетоэлектрика при резонансе рассчитывается по формуле:

$$P_{a.p} = \frac{4N^2\eta_{ам}^2}{(\rho c)_e S} U^2, \quad (1)$$

где  $\eta_{ам}$  – КПД, учитывающий механические потери; принимаем  $\eta_{ам} = 0,5$ ;

$S$  – площадь электродного покрытия;

$U$  – подаваемое напряжение;

$\rho$  – плотность среды;

$c$  – скорость звука в среде.

Коэффициент электромеханической трансформации рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{\varepsilon_{33} S}{\delta}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{33}$  – пьезоконстанта, определяет механические напряжения в заторможенном ( $U = 0$ ) элементе при  $E = \text{const}$ ;

$\delta$  – толщина пьезокерамической пластины.

Электрическое напряжение, необходимое для получения заданной акустической мощности  $P_{а.р.}$  при резонансе:

$$U = \frac{(\rho c)_в SP_{а.р.}}{2N\eta_{ам}}. \quad (3)$$

Механическая добротность:

$$Q \approx \frac{\omega_p \rho \delta \eta_{ам}}{(\rho c)_в} \quad (4)$$

Подставив коэффициент электромеханической трансформации в уравнение (1), получим значение акустической мощности излучения при резонансе:

$$P_{а.р.} = \frac{4\varepsilon_{33}^2 \eta_{ам} S U^2}{(\rho c)_в \delta^2} \quad (5)$$

Анализ представленной расчётной формулы показывает, что для получения максимального значения акустической мощности при разрабатываемой технологии, необходимо стремиться, чтобы такие значения, как относительная диэлектрическая проницаемость, коэффициент, учитывающий механические потери, напряжение пробоя и площадь электродного покрытия имели максимальные значения, а толщина сегнетокерамического покрытия должна быть снижена до минимума. Вместе с тем, резонансная частота акустического сигнала обратно пропорциональна толщине сегнетоэлектрика, и для возможности

охвата наибольшего диапазона АЧХ, сегнетокерамическая поверхность, генерирующая акустические волны, должна представлять собой многосекционный элемент с широким диапазоном толщин керамических слоёв.

В соответствии с расчётной формулой 5 еще одно значение, с увеличением которого увеличивается и акустическая мощность - это активная площадь электродного покрытия.

В то же время, от толщины сегнетокерамического покрытия, в первую очередь, зависит величина выделяемого электрического сигнала при прямом пьезоэффекте, а также величина деформации сегнетокерамического материала при обратном пьезоэффекте и, как следствие, возможность или невозможность генерировать акустический сигнал заданной мощности с определёнными амплитудно-частотными характеристиками. Также в формуле 5 присутствует величина скорости звука в среде, в которой происходит распространение сигнала, и ее плотность.

На основании уравнения 5 был построен график зависимости (рисунок 1) акустической мощности от изменения площади электродного покрытия и напряжения поляризации, при постоянной толщине титановой подложки 0,03 м.

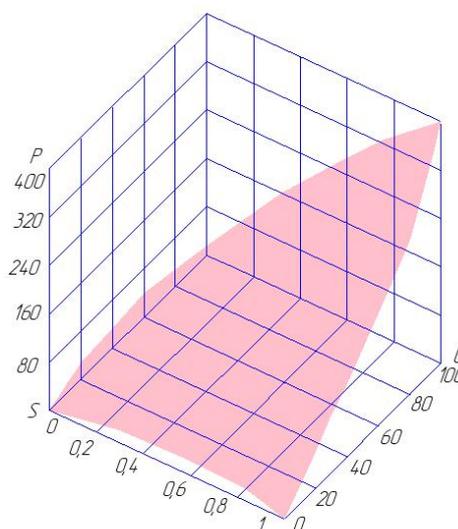


Рис. 1. Зависимость акустической мощности от изменения площади электродного покрытия и напряжения поляризации.

### Заключение

Из рисунка 1 можно сделать вывод о характере изменения акустической мощности от изменения площади электродного покрытия и напряжения при поляризации. С увеличением обоих параметров ( $S$  и  $U$ ) акустическая мощность увеличивается, но наибольшего эффекта можно добиться при увеличении напряжения при поляризации, так как в формуле 5 данное значение находится в степенной зависимости.

Для повышения эффективности снижения уровня акустического давления от работающих механизмов, АЧХ которых сильно отличаются друг от друга, в том числе и по ширине преимущественных частот, может быть предложена многосекционная конструкция сегнетокерамического слоя. Для создания многосекционных слоев применяются специальные трафареты. Они представляют собой пластины с отверстиями, размеры которых выбираются в зависимости от частотных характеристик акустических волн, создаваемых различными устройствами. При нанесении

минимальных толщин для отдельных секций, часть отверстий закрывается, и процесс напыления продолжается до тех пор, пока не будет создана секция с максимальной толщиной либо нужным количеством слоёв для модульных конструкций.

### Литература

1. *Свердлин Г. М.* Гидроакустические преобразователи и антенны. – Л.: Судостроение, 1988. – 147 с.
2. *Свердлин Г. М.* Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1990. – 320 с.
3. *Римский-Корсаков А. В.* Электроакустика. – М.: Связь, 1973. – 272 с.

### References

1. *Sverdlin G.M.* Sonar transmitters and antennas. – L: Shipbuilding, 1988. – 147 p.
2. *Sverdlin G.M.* Applied Underwater Acoustics. – L.: Shipbuilding, 1990. – 320 p.
3. *Rimsky-Korsakov A.V.* Electroacoustics. – M.: Communications, 1973. – 272.

**Статья поступила в редакцию 27 октября 2012 г.**

A scheme is proposed, in which the locations of the noise sources, special housings with ferroelectric ceramics coating that through direct and inverse piezoelectric record an acoustic signal with built-in microprocessor analyzes it and generates a response in anti-acoustic wave. As the technology of coatings applied ferroelectric ceramics gas-dynamic spraying. In this paper the dependence of the acoustic power of the change in the area of the electrode surface and the polarization voltage. To increase the effectiveness of noise reduction of working arrangements, where their amplitude - frequency characteristics are very different from each other, including the width of the preferred frequencies proposed multicell design ferroelectric ceramics layer.

*Keywords:* piezoelectric effect, acoustic power, frequency response, resonance frequency.

*Мурадов Илья Борисович* – кандидат технических наук, Пензенский государственный университет

*Крюков Дмитрий Борисович* – кандидат технических наук, Пензенский государственный университет

*Казанцев Игорь Алексеевич* – кандидат технических наук, Пензенский государственный университет

*Шаталов Николай Владимирович* – студент, Пензенский государственный университет