

УДК 534.222

А.С. Эсси-Эзинг

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ДВУМЯ РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫМИ СРЕДАМИ С ПОМОЩЬЮ СОГЛАСУЮЩЕГО СЛОЯ**

*Рассматриваются существенные отличия задачи согласования преобразователя со средой от задачи согласования двух сред. Обоснована необходимость применения согласующего слоя как трансформатора акустического импеданса, в данном случае, входного импеданса среды во входной импеданс пьезоэлектрического преобразователя. Поясняется эта возможность с помощью виртуального эксперимента. Рассматривается преобразователь, совершающий толщинные колебания, нагруженный на полубесконечную жидкую среду. При выборе материала промежуточного слоя предпочтительно использовать материал со значением волнового сопротивления меньшим волнового сопротивления идеализированного материала.*

*Бегущая волна; четвертьволновой слой.*

A.S. Assy-Azing

**INVESTIGATION OF THE BOUNDARY BETWEEN TWO DIFFERENT SEMI-INFINITE MEDIA WITH A MATCHING LAYER**

*Considered significant differences task of reconciling the converter with the environment on the task of reconciling the two environments. as well as the idea that the matching layer is the acoustic impedance transformer, in this case, the input impedance of the input impedance of the medium in the piezoelectric transducer, remains. This feature is explained with the help of virtual experiment. We consider committing a thickness of vibration transducer, loaded on a semi-infinite liquid medium. In choosing the material of the intermediate layer preference should be given to materials with a value of impedance, lower impedance of an idealized material.*

*The traveling wave; a quarter wave layer.*

При нагрузке на жидкость волновое поле в преобразователе описывается системой стоячей и бегущей волн. Именно бегущая волна уносит энергию из преобразователя в жидкость. Часть энергии внешнего источника колебаний расходуется на создание системы стоячих волн в преобразователе, а часть – на создание бегущей волны, уносящей энергию в жидкость. Для получения максимального излучения в среду необходимо сближать волновые сопротивления среды и материала преобразователя. Данного эффекта можно добиться применением идеального трансформатора волнового сопротивления в виде четвертьволнового согласующего слоя.

Рассмотрим следующую особенность согласования преобразователя со средой излучения.

Преобразователь представляет собой резонансное устройство, частота резонанса которого в рассматриваемой одномерной модели определяется его толщиной – резонансным размером. При соединении излучающей поверхности преобразователя с согласующим слоем получается новая колебательная система, несимметричная относительно оси  $Z$ . В результате исходный резонанс преобразователя расщепляется на два резонанса. Первый резонанс – полуволновой, второй – волновой новой колебательной системы. Расстояние между резонансами зависит от отношения волновых сопротивлений и толщин пьезопреобразователя и добавленного слоя.

Рассмотрим случай идеализированного согласующего слоя, волновое сопротивление которого удовлетворяет соотношению:

$$\rho_0 c_0 = \sqrt{\rho c \cdot \rho' c'} \quad (1)$$

Толщина слоя равна четверти длины на частоте резонанса исходного преобразователя. Частотная зависимость активного сопротивления преобразователя со слоем представлена на рис. 1.

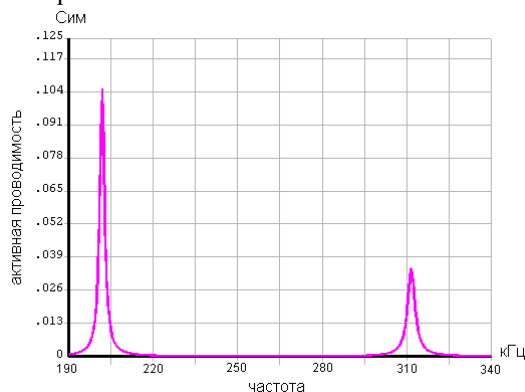


Рис. 1. Частотная зависимость активной проводимости преобразователя с идеализированным согласующим слоем

На рис. 2 приведена частотная зависимость давления на излучающей поверхности согласующего слоя.

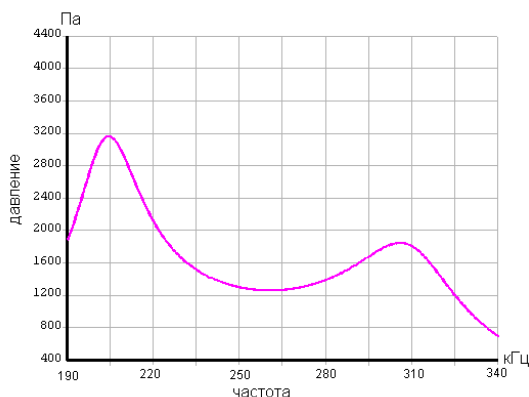


Рис. 2. Частотная зависимость давления на излучающей поверхности согласующего слоя

Строго говорить о согласовании преобразователя со средой излучения на определенной частоте, например, на частоте резонанса не приходится, поскольку добавление согласующего слоя, толщина которого рассчитывается по выбранной частоте, приводит к расщеплению резонанса преобразователя на два. Выбор другой частоты согласования приведет к другим значениям резонансных частот. Однако, положительным эффектом применения согласующего слоя является резкое уменьшение добротности обоих резонансов, а также увеличение давления в промежутке между резонансами. Таким образом, резонансы нагруженного преобразователя с согласующим слоем не являются изолированными. В качестве рабочего можно выбрать один из них, например, первый резонанс.

Еще одна возможность при использовании согласующего слоя заключается в том, чтобы получить широкополосный преобразователь. Для этого можно варьировать параметры согласующего слоя так, чтобы максимумы двугорбой кривой

сравнились, а значение в минимуме было как можно больше. Если отклонение амплитуды давления на частоте минимума провала АЧХ от значений амплитуды давления на частотах максимумов АЧХ меньше 3 дБ, то часть двугорбой характеристики вместе с провалом будет расположена выше уровня 0,7 от значения в максимуме. В этом случае по эффективной ширине полосы пропускания можно ввести эффективную добротность в широком диапазоне частот.

Например, при фиксированном волновом сопротивлении слоя материала его толщина изменялась так, что получились равные значения давления в максимумах двугорбой кривой.

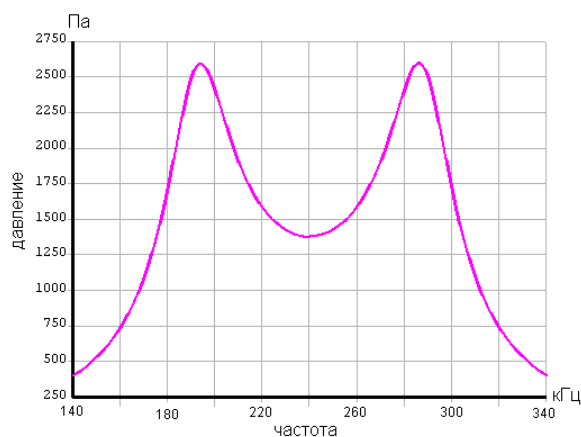


Рис. 3. Частотная зависимость давления на излучающей поверхности согласующего слоя при оптимальной толщине слоя

Как видно из рис. 3, соотношение амплитуд давления в максимумах и минимуме улучшилось, но все же недостаточно, чтобы говорить о получении широкополосного преобразователя. Для этого необходимо демпфировать преобразователь тем или иным способом.

Рассмотрим влияние волнового сопротивления материала слоя. Для этого рассмотрим два реальных материала с волновым сопротивлением, меньшим и большим волнового сопротивления идеализированного материала.

В качестве первого материала выберем стеклопласт со следующими параметрами:

- ♦ плотность  $\rho_3 = 2020 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ; скорость звука  $c_3 = 2850 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ; волновое сопротивление равно  $5,76 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ .

В качестве второго материала выберем стеклогуглерод со следующими параметрами:

- ♦ плотность  $\rho_3 = 1590 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , скорость звука  $c_3 = 4630 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , волновое сопротивление равно  $7,38 \cdot 10^6 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ .

На рис. 4 и 5 представлены частотные характеристики давления для этих двух случаев, оптимизированные по толщине слоя. Толщина слоя стеклопласта равна 3,53 мм, стеклогуглерода – 6,2 мм.

Таким образом, при выборе материала промежуточного слоя предпочтение, по-видимому, нужно отдать материалам со значением волнового сопротивления, меньшим волнового сопротивления идеализированного материала.

Для получения большой полосы пропускания (40% и выше) акустического согласования преобразователя со средой недостаточно. Необходимо использовать механический демпфер для искусственного занижения добротности преобразователя.

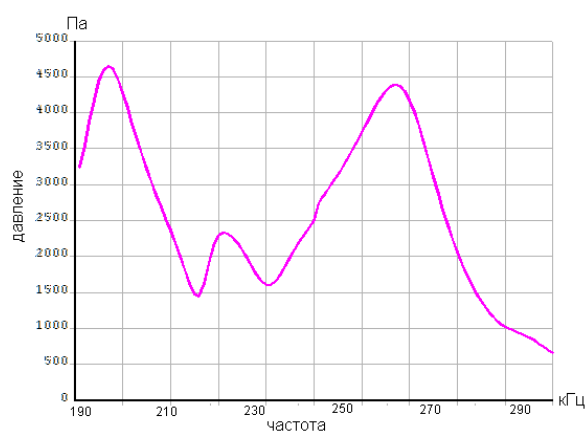


Рис. 4. Частотная зависимость акустического давления для согласующего слоя из стеклопласта при  $h_s = 3,53$  мм

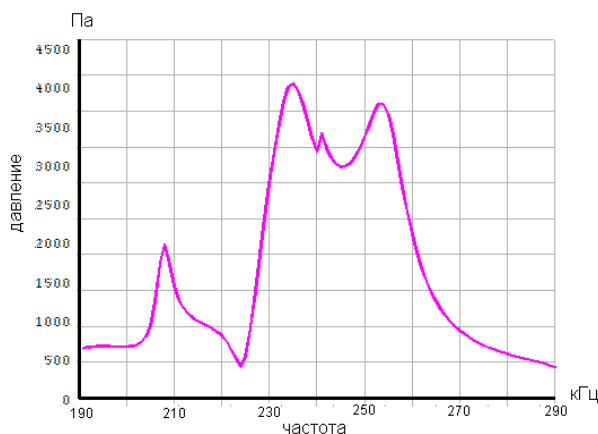


Рис. 5. Частотная зависимость акустического давления для согласующего слоя из стеклоглерода при  $h_s = 6,2$  мм

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исакович М.А. Общая акустика. – М.: Наука, 1973. – 192 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

**Эсси-Эзинг Анна Сергеевна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: anna.paschnya@yandex.ru; г. Таганрог, ул. Гарibaldi, 27, кв. 49. тел.: 89613210200; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирантка.

**Assy-Azing Anna Sergeevna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: anna.paschnya@yandex.ru; 27, Garibaldi street, ap. 49, Taganrog, Russia; phone: +79525735406; the department of hydroacoustics and medical engineering; postgraduate student.