

АКТИВНОЕ ГАШЕНИЕ ЗВУКА. КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ГАШЕНИЯ.

Н. С. ЛЕЙКО, Л. Г. ГУЛЕГА, А. Г. ЛЕЙКО
 Киевский государственный НИИ гидроприборов

Analysis of one possible method to organize selfadjusting system of sound cancelling level control which is the part of active sound cancelling system is presented.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проблема активного гашения звука, излучаемого и рассеиваемого телом в пространстве, является в настоящее время одной из центральных в акустике. Для акустического поля, порождаемого падающей волной из внешней среды на некоторую область пространства, можно рассматривать несколько подходов к решению задачи гашения звука. К первому из них следует отнести такой способ гашения звука, при котором падающее поле во внешней среде не изменяется, т.е. компенсируется только рассеянное (отраженное) поле. Этот метод, называемый методом Г.Д. Малюжинца, основан на разделении акустического поля на падающую и рассеянную компоненты с помощью интегрального оператора Гельмгольца-Гюйгенса и на последующей компенсации рассеянной компоненты поля дополнительными источниками звука. Для реализации этого метода тело окружается звукопрозрачными замкнутыми приемными и излучающими поверхностями Гюйгенса. На внутренней поверхности Гюйгенса помещаются непрерывно распределенные приемники, измеряющие давление и нормальную составляющую колебательной скорости, которые необходимы для факторизации поля. На внешней поверхности Гюйгенса непрерывно размещаются источники звука монопольного и дипольного типов, которые излучают только во внешнюю область и таким образом компенсируют рассеянную компоненту, но не искажают общее поле во внутренней области. Управление источниками звука осуществляется сигнальными сенсорами с использованием системы определения уровня компенсации рассеянной компоненты. Применительно к плоской отражающей поверхности схема построения такой системы активного гашения звука приведена на рис.1.

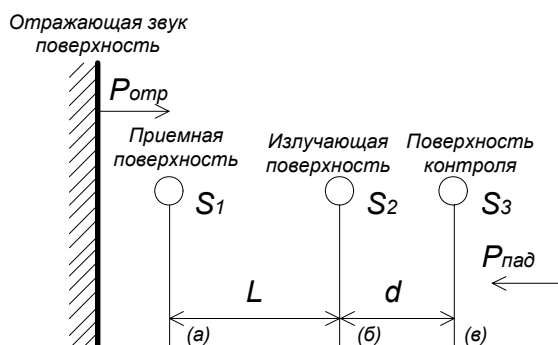


Рис.1.

Анализ этой схемы показывает, что обычно система активного гашения звука имеет в своем составе три компонента: акустический блок, состоящий из приемной S_1 и излучающей S_2 поверхностей; электронный блок и устройство контроля уровня гашения звука. Поверхности акустического блока должны быть звукопрозрачными, обладать свойством однонаправленности и принимать (излучать) поле с одной стороны, ничего не принимая (излучая) с другой стороны. Электронный блок обеспечивает формирование требуемого сигнала гашения звука. Устройство контроля уровня гашения звука должно получать и сравнивать информацию о падающем, отраженном и гасящем полях и обеспечивать управление по установленному закону передаточной характеристикой электронного блока. Поверхность контроля уровня остаточного поля расположена от излучающей поверхности S_2 на определенном расстоянии.

Целью данной работы является определение алгоритма изменения передаточной характеристики системы гашения звука и требований к ее практической реализации. Отметим, что несмотря на обилие работ по построению систем активного гашения звука, представленных в [1], проблема контроля уровня гашения освещена крайне скудно [2].

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Физический алгоритм функционирования системы контроля состоит в следующем. Измеряются амплитуды и фазы давлений звука в падающем $P_{пад}$, отраженном $P_{отр}$ и остаточном $P_{ост}$ полях в точках расположения преобразователей поверхности контроля S_3 . Основываясь на полученных данных, определяется передаточная функция W электронного блока, которая соответствует образовавшемуся остаточному полю. Эта передаточная функция W сравнивается с передаточной функцией W_0 , соответствующей заданной величине остаточного поля. Получающийся в итоге результат по модулю и фазе передаточной функции $|\Delta W| = |W| - |W_0|$ и $\phi_{\Delta W} = \phi_W - \phi_{W_0}$ и представляет собой искомый закон изменения передаточной функции. Установленная процедура повторяется несколько раз до тех пор пока остаточное поле в отраженной волне станет равным заданной величине. Упрощенная блок-схема реализации изложенного алгоритма представлена на рис.2, где: 1 – однонаправленный приемник, измеряющий давление в падающем и отраженном полях; 2 – электронный блок, управляющий излучателем с передаточной функцией W ; 3 – однонаправленный излучатель гасящего сигнала; 4 – контрольный приемник; 5 – управляющее устройство для гашения остаточного поля с передаточной функцией W_0 .

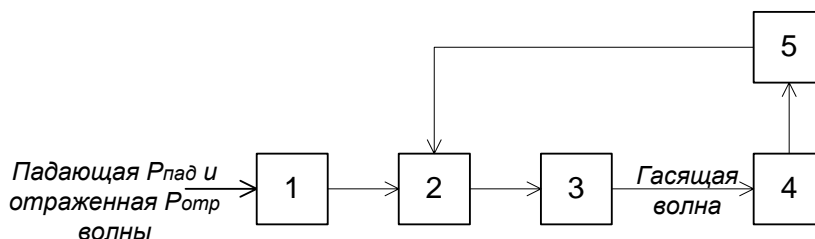


Рис.2.

Определим соотношения, описывающие передаточные функции W и W_0 .
 Запишем давление в точке (в) расположения контрольного приемника в виде:

$$P_{(в)} = P_{пад(в)} + P_{отр(в)} + P_{изл(в)}, \quad (1)$$

где $P_{пад(в)}$ и $P_{отр(в)}$ – давления соответственно в падающей и отраженной волнах, измеренные в точке (в); $P_{изл(в)}$ – давление, создаваемое излучателем и измеренное в точке (в).

Запишем выражения для всех трех компонент давления

$$\begin{aligned} P_{пад(в)} &= P_{пад(а)} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma}; \\ P_{отр(в)} &= P_{отр(а)} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma}; \quad P_{изл(в)} = P_{отр(а)} \Phi_0(\theta) W \Phi_1(\theta) e^{i\gamma_1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $P_{пад(а)}$ – давление в падающей волне, измеренное приемником, расположенным в точке (а) с характеристикой направленности $\Phi_0(\theta)$; $P_{отр(а)}$ – давление в отраженной волне, измеренное приемником в точке (а); $\Phi_1(\theta)$ – характеристика направленности излучателя; W – передаточная функция электронного блока; γ – набег фазы, определяемый расстоянием $L+d$; γ_1 – набег фазы, определяемый расстоянием d .

Напряжение, измеренное на выходе контрольного приемника в точке (в), можно представить в виде:

$$U_{(в)} = P_{(в)} \gamma_{кп}, \quad (3)$$

где $\gamma_{кп}$ – чувствительность контрольного приемника.

Подставив $P_{(в)}$ из выражений (1) и (2) в соотношение (3), получаем:

$$U_{(в)} = \gamma_{кп} \frac{U_{пад(а)}}{\alpha_{np}} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma} + \gamma_{кп} \frac{U_{отр(а)}}{\alpha_{np}} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma} + \gamma_{кп} U_{отр(а)} \beta_{из} W \Phi_0(\theta) \Phi_1(\theta) e^{i\gamma_1} \quad (4)$$

где $U_{пад(а)}$ – напряжение в падающей волне, измеренное однонаправленным приемником с осевой чувствительностью α_{np} в точке (а); $U_{отр(а)}$ – напряжение в отраженной волне, измеренное однонаправленным приемником в точке (а); $\beta_{из}$ – осевая чувствительность однонаправленного излучателя.

Из выражения (4) определяем передаточную функцию W

$$W = \frac{U_{(в)} - \gamma_{кп} \frac{1}{\alpha_{np}} (U_{пад(а)} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma} + U_{отр(а)} \Phi_0(\theta) e^{i\gamma})}{\gamma_{кп} U_{отр(а)} \beta_{из} \Phi_0(\theta) \Phi_1(\theta) e^{i\gamma_1}} \quad (5)$$

Для случая, когда приемник и излучатель имеют однонаправленные характеристики направленности, расположенные навстречу друг другу перпендикулярно приемной и излучающей поверхностям, а передаточная характеристика определяется из условия полного гашения звука при нормальном падении волны, имеем:

$$W_{\theta=0^0} = \frac{U_{(в)} - \gamma_{кп} \frac{1}{\alpha_{np}} (U_{пад(а)} + U_{отр(а)}) e^{i\gamma}}{\gamma_{кп} U_{отр(а)} \beta_{из} e^{i\gamma_1}} \quad (6)$$

Таким образом, измерив указанные величины напряжений, можно определить передаточную функцию W , которая соответствует образовавшемуся остаточному полю. Далее необходимо произвести сравнение выражения (6) с передаточной функцией, которая была заложена для реализации нулевого остаточного поля под углом $\theta = 0^0$ в виде

$$W_0 = \frac{e^{ikL}}{4\alpha\beta\sin^2 kl},$$

где l - размер однонаправленных приемника и излучателя, выполненных в виде преобразователей с кардиоидной характеристикой направленности, L – расстояние между приемником и излучателем, и ввести в электронный блок соответствующие корректировки

$$|\Delta W| = |W| - |W_0|; \quad \phi_{\Delta W} = \phi_W - \phi_{W_0}$$

Настройку описанным образом необходимо повторить несколько раз до тех пор пока остаточное поле в отраженной волне не станет равным нулю, т.е. измеренное напряжение в точке (в) будет равно только падающей волне

$$U_{(в)} = \frac{U_{пад(a)} e^{i\gamma}}{\alpha_{np}} \gamma_{кп}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные материалы дают представление об одном из возможных вариантов технической реализации самонастраивающейся системы активного гашения звука. При этом особенностью построения системы контроля уровня гашения, проистекающей из адаптационных свойств всей системы активного гашения звука, является необходимость измерения звукового давления не только в отраженном и гасящем полях, но и в поле падающей волны. Для практической реализации этого требования приемная поверхность S_1 должна иметь изменяемую по направлению однонаправленность, а поверхность контроля S_3 должна быть образована из ненаправленных приемников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко А.И., Тютекин В.В. Плоская активная система гашения звука, основанная на применении двумерных пространственных гармоник // Акуст.ж. - 2004 - **50**, №1. - С.5-13.
2. Мальцев А.А., Масленников Р.О., Хоряев А.В., Черепенников В.В. Адаптивные системы активного гашения шума и вибраций // Акуст.ж. - 2005.-**51**, №2. - С.242-259.