

Уточнение расчёта акустических экранов, устанавливаемых в производственном помещении*

В. А. Бондаренко, И. В. Богуславский, С. С. Подуст

Акустические экраны — это средства звукоизоляции. Они предназначены для снижения шума на пути его распространения от источника до расчётной точки (РТ, рабочее место). Достоинствами акустических экранов являются конструктивная простота, малая масса и сравнительно низкая стоимость. Акустический экран как система шумозащиты обладает отличительной особенностью: зона максимального ослабления шума располагается в непосредственной близости от экрана. Эффективность применения экранов определяют следующие факторы:

- небольшие размеры источника шума;
- преобразование высокочастотных составляющих спектра шума источника;
- расположение рабочей зоны вне технологической машины;
- небольшое расстояние от источника шума до рабочего места оператора.

Всё это в полной мере относится к оборудованию различного функционального назначения. В частности, к металлорежущим и деревообрабатывающим станкам (токарным, фрезерным, шлифовальным), редукторам и двигателям на участках обкатки. Существуют подробно разработанные расчёты экранов для их установки. В условиях свободной атмосферы формирование звукового поля при установке экранов внутри производственных помещений имеет существенные отличия, обусловленные многочисленными отражениями звуковых волн. В данной статье приведены результаты исследований акустической эффективности экранов в производственных помещениях.

Ключевые слова: акустические экраны, расчёт параметров экрана, производственные помещения.

Введение. В настоящее время изучено шумообразование технологических машин различного функционального назначения в производственных помещениях [1, 2, 3]. Существуют методы расчёта акустических экранов [4–10]. Однако данные исследования не принимают во внимание взаимодействие дифрагирующего звука через рёбра экрана. Следовательно, не учитывается звуковая энергия, отражённая от близрасположенного оборудования, стен, пола и потолка производственного помещения. Поэтому в данной статье акустический экран зоны обработки рассчитывается согласно схеме производственного помещения, приведённой на рис. 1 и учитывающей дифрагирование звука через рёбра экрана.

Результаты исследований. Интенсивность звука в расчётной точке:

$$I_{РТ} = I_{пр}^{огр} + I_{отр}^{об} + I_{отр}, \text{ Вт} \cdot \text{м}^2, \quad (1)$$

где $I_{пр}^{огр}$ — звук, дифрагированный через ограждение; $I_{отр}^{об}$ — звук, отражённый от расположенных рядом станков; $I_{отр}$ — звук, отразившийся от стен, пола, потолка помещения.

Предположим, что источник шума является излучателем сферических звуковых волн. В этом случае интенсивность звука, падающего на ограждение, определяется:

$$I_{пад}^{огр} = \frac{W_{ист} \cdot X}{\Omega r_1^2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, \quad (2)$$

где r_1 — расстояние от источника шума до ограждения, м.

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

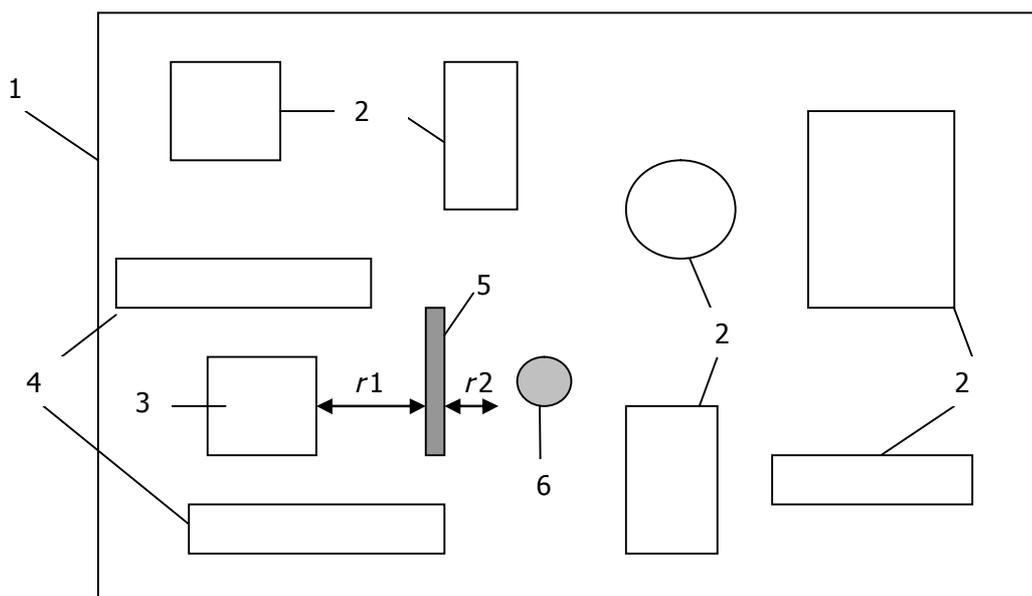


Рис. 1. Расчётная схема для определения шума на рабочем месте: 1 — производственное помещение; 2, 3, 4 — технологическое оборудование; 5 — акустический экран; 6 — расчётная точка (рабочее место)

В расчётах принято $\Omega = 2\pi$, так как полупространство ограничено корпусом станка. Принято также, что энергия звука, проходящая через ограждения, намного меньше, чем дифрагированный звук. Поэтому в расчётах она не учитывается. Звук поступает в РТ через рёбра ограждения.

Акустическая мощность на ограждении:

$$W_{огр} = I_{пад}^{огр} \cdot (1 - \alpha_{огр}) S_{огр}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $\alpha_{огр}$ — коэффициент звукопоглощения отражающей конструкции со стороны источника шума;

$S_{огр}$ — площадь ограждения.

Звук, дифрагирующий через i -е ребро ограждения и попавший в РТ, в предположении, что ребро является линейным излучателем звука:

$$I_{пр}^{огр} = \frac{W_{огр}}{2\pi l_i r_2} \arctg \frac{l_i}{2r_2}, \quad (4)$$

где l_i — длина i -го ребра, м; r_2 — расстояние от ребра до РТ (принимая, что расстояния от каждого из рёбер до РТ одинаковы).

Если звуки проникают в РТ через n рёбер, то

$$I_{пр}^{огр} = \sum_{i=1}^n I_{пр_i}^{огр}. \quad (5)$$

Подставив (2)–(4) в (5), получим:

$$I_{пр}^{огр} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{ист} (1 - \alpha_{огр}) S_{огр}}{2\pi r_1^2 2\pi l_i r_2} \arctg \frac{l_i}{2r_2}. \quad (6)$$

Предполагается, что близрасположенные отражающие поверхности являются простыми излучателями звука и по всей их площади расположены точечные источники звука.

Звук, падающий на отражающую поверхность:

$$I_{пад}^{об} = \frac{W_{ист}}{2\pi r_{об}^2}, \quad (7)$$

где $r_{об}$ — расстояние от источника шума до близрасположенного оборудования, м.

Акустическая мощность, излучаемая отражающей поверхностью:

$$W_{об} = I_{под}^{об} S_{об} (1 - \alpha_{об}), \quad (8)$$

где $S_{об}$ — площадь излучаемой поверхности, m^2 ; $\alpha_{об}$ — коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности.

Звук в РТ от i -го близрасположенного станка:

$$I_{отр}^{об} = \frac{4W_{об}}{\pi a_{об_i} b_{об_i}} \operatorname{arctg} \frac{a_{об_i} b_{об_i}}{2r_i \sqrt{4r_i^2 a_{об_i}^2 + b_{об_i}^2}}, \quad (9)$$

где $a_{об_i} b_{об_i}$ — линейные размеры отражающей поверхности, м; r_i — расстояние от отражающей поверхности до РТ, м.

Для m близрасположенных станков отражающий звук:

$$I_{отр}^{от} = \sum_{i=1}^m I_{отр_i}^{об}. \quad (10)$$

Тогда:

$$I_{отр}^{от} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{ист} (1 - \alpha_{отр}) S_{об}}{2\pi r_{об}^2 \alpha_{об} b_{об} \pi} \operatorname{arctg} \frac{a_{об} b_{об}}{2r_i \sqrt{4r_i^2 a_{об}^2 + b_{об}^2}}. \quad (11)$$

После некоторых преобразований получено:

$$I_{РТ} = 4W_{ист} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1 - \alpha_{отр}) S_{отр}}{\pi^2 r_i^2 l_i r_2} \operatorname{arctg} \frac{l_i}{2r_2} + \sum_{i=1}^m \frac{(1 - \alpha_{об})}{2\pi^2 r_{об}^2} \operatorname{arctg} \frac{a_{об_i} b_{об_i}}{2r_i \sqrt{r_i^2 + a_{об}^2 + b_{об}^2}} + \frac{\Psi_{пом}}{B_{пом}} \right], \quad (12)$$

где $W_{ист}$ — акустическая мощность источника, Вт; $\Psi_{пом}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность звукового поля внутри ограждения; $B_{пом}$ — акустическая постоянная внутри замкнутого ограждающего объема, m^2 .

$$B_{пом} = \frac{A_{отр}}{1 - \bar{\alpha}_{отр}},$$

где $A_{отр}$ — эквивалентная площадь помещения, m^2 ; $\bar{\alpha}_{отр}$ — средний коэффициент звукопоглощения.

Прологарифмировав обе части, получим следующее выражение:

$$I_{РТ} = L_{W_{ист}} + 10 \lg \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1 - \alpha_{отр}) S}{\pi^2 r_i^2 l_i r_2} \operatorname{arctg} \frac{l_i}{2r_2} + \sum_{i=1}^m \frac{(1 - \alpha_{об})}{2\pi^2 r_{об}^2} \operatorname{arctg} \frac{a_{об_i} b_{об_i}}{2r_i \sqrt{r_i^2 + a_{об}^2 + b_{об}^2}} + \frac{\Psi_{пом}}{B_{пом}} \right] + 6, \text{ дБ}, \quad (13)$$

где $L_{W_{ист}}$ — уровни акустической мощности источника, дБ.

Для практических целей удобнее пользоваться октавными или третьоктавными уровнями звукового давления, которые фактически измеряются при проведении экспериментальных исследований. Поэтому выражение (13) приведено к виду

$$L_{p.m} = L_p - 20 \lg(r_1 + r_2) + \delta + 10 \lg \left[\sum_1^3 \frac{(1 - \alpha_{об}) h}{2r_{об}^2} \operatorname{arctg} \frac{l_1}{2r_2} + \sum_1^m \frac{(1 - \alpha_{об})}{2r_{об}^2} \operatorname{arctg} \frac{ab}{2r_{об} \sqrt{r_{об}^2 + a^2 + b^2}} + \frac{1,3\alpha_n^2 - 2,3\alpha_n + 1}{\alpha_n S_n} \right], \quad (14)$$

где L_p — уровни звукового давления, дБ; $\alpha_n S_n$ — коэффициент звукопоглощения и площадь (m^2) производственного помещения; h — высота экрана, м.

Пример расчёта шума на рабочем месте или ограждении зоны резания экраном выполнен при уровнях звукового давления, измеренных непосредственно в рабочей зоне модельного станка (табл. 1).

Уровни звукового давления в рабочей зоне модельного станка

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, дБ	75	78	80	87	89	85	83	82	81
Уровни звукового давления при установке экрана, дБ	66	67	70	76	78	72	70	68	63
Санитарные нормы, дБ	107	95	87	81	78	75	73	71	69

Заключение. Результаты расчётов показали, что для рассмотренного источника шума предлагаемый экран обеспечивает выполнение санитарных норм в рабочей зоне. Следует отметить, что только в пятой октаве со среднегеометрической частотой 500 Гц уровни звукового давления в рабочей зоне фактически равны предельно допустимому значению. На практике можно повысить акустическую эффективность экрана, увеличив его высоту.

Библиографический список

1. Шамшура, С. А. Математическая модель шумообразования виброударного упрочнения лонжеронов вертолётов / С. А. Шамшура, С. Н. Шевцов, А. Н. Чукарин // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 9, № 2 (41). — С. 217–223.
2. Чукарин, А. Н. Моделирование вибраций акустической системы стенов при динамических испытаниях / А. Н. Чукарин, С. А. Шамшура // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 9, № 3 (42). — С. 427–433.
3. Шамшура, С. А. Теоретическое исследование виброакустических характеристик при динамических испытаниях на циклическую прочность / С. А. Шамшура, И. В. Богуславский, А. Н. Чукарин // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 10 (61). — С. 1857–1866.
4. Kurze, U.-J. Noise Reduction by Barriers / U.-J. Kurze, // Acoustical Society of America. — 1974. — Vol. 55, № 3. — Pp. 504–508.
5. Kurze, U.-J. Sound Attenuation by Barriers / U.-J. Kurze, G.-A. Anderson // Applied Acoustics. — 1971. — № 4. — Pp. 35–53.
6. Maekawa, Z. Noise Reduction by Screen of Finite Size / Z. Maekawa // Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University. — 1966. — Pp. 1–12.
7. Методы и средства снижения шума мелиоративных машин / Л. Ф. Дроздова [и др.]. — Москва : ЦНИИТЭИстроймаш, 1984. — 70 с.
8. Градостроительные меры борьбы с шумом / Г. Л. Осипов [и др.]. — Москва : Стройиздат, 1975. — 215 с.
9. Иванов, Н. И. Расчёт эффективности малых акустических экранов / Н. И. Иванов, М. М. Самойлов // Проблемы шумозащиты. Днепропетровск, — 1980. — С. 21–23.
10. Техническая акустика транспортных машин : справочник / Л. Г. Балишанская [и др.] ; под ред. Н. И. Иванова. — Санкт-Петербург : Политехника, 1992. — 365 с.

Материал поступил в редакцию 10.01.2014.

References

1. Shamshura, S. A., Shevtsov, S. N., Chukarin, A. N. Matematicheskaya model shumooobrazovaniya vibroudarnogo uprochneniya lonzheronov vertoletov. [Mathematical model of noise generation of vibro-shock hardening of helicopter longerons.] Vestnik of DSTU, 2009, vol. 9, no. 2 (41), pp. 217–223 (in Russian).
2. Chukarin, A. N., Shamshura, S. A. Modelirovaniye vibratsiy akusticheskoy sistemy stendov pri dinamicheskikh ispytaniyakh. [Modelling of vibrations of products and cables at dynamic tests.] Vestnik of DSTU, 2009, vol. 9, no. 3 (42), pp. 427–433 (in Russian).

3. Shamshura, S. A., Boguslavskiy, I. V., Chukarin, A. N. Teoreticheskoye issledovaniye vibroakusticheskikh kharakteristik pri dinamicheskikh ispytaniyakh na tsiklicheskuyu prochnost. [Theoretical study on vibroacoustics under dynamic test cyclical strength.] Vestnik of DSTU, 2011, vol. 11, no. 10 (61), pp. 1857–1866 (in Russian).

4. Kurze, U.-J. Noise Reduction by Barriers. Acoustical Society of America, 1974, vol. 55, no. 3, pp. 504–508.

5. Kurze, U.-J., Anderson, G.-A. Sound Attenuation by Barriers. Applied Acoustics, 1971, no. 4, pp. 35–53.

6. Maekawa, Z. Noise Reduction by Screen of Finite Size. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University, 1966, pp. 1–12.

7. Drozdova, L. F., et al. Metody i sredstva snizheniya shuma meliorativnykh mashin. [Methods and techniques of noise abatement of reclamation machines.] Moscow : TsNIITEIstroy mash, 1984, 70 p. (in Russian).

8. Osipov, G. L., et al. Gradostroitelnyye mery borby s shumom. [Town-planning noise control measures.] Moscow : Stroyizdat, 1975, 215 p. (in Russian).

9. Ivanov, N. I., Samoylov, M. M. Raschet effektivnosti malykh akusticheskikh ekranov. [Efficiency calculations of small acoustic baffles.] Dnepropetrovsk : Problemy shumozashchity, 1980, pp. 21–23 (in Russian).

10. Balishanskaya, L. G., et al., Ivanov, N. I., ed. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin : spravochnik. [Acoustic engineering of transport machines : reference guide.] Saint Petersburg : Politekhnik, 1992, 365 p. (in Russian).

CALCULATION SPECIFICATION OF ACOUSTIC SCREENS LOCATED IN PRODUCTION AREA*

V. A. Bondarenko, I. V. Boguslavskiy, S. S. Podust

Acoustic screens are one of the means to provide sound insulation and noise reduction on its path from the source to the target point (TP, the workplace). The advantages of the acoustic screens are constructive simplicity, light weight, and relatively low cost. A distinctive feature of an acoustic screen as a sound insulation system is that the area of maximum attenuation is located in close proximity to the screen. The efficiency effect of the screens is determined by the following factors:

- a small size of the noise source;*
- the conversion of high-frequency components of the source noise spectrum;*
- the location of the work area outside the technological machine;*
- a short distance from the noise source to the operator's station.*

All that fully applies to the equipment for various applications, in particular, for the metal and woodworking machinery (lathe, milling, grinding), gear-boxes, and engines on the running sites. The existing detailed screen calculations are designed for screen installation. At free atmosphere, the formation of the acoustic field under the screen installation inside the production areas differs essentially due to the multiple reflections of sound waves. The studies on the acoustic performance of screens inside the production are resulted in the paper.

Keywords: *acoustic screens, screen parameter analysis, manufacturing premises.*

* The research is done within the frame of the independent R&D.