

УДК 628.517.625.1.08

Д. А. Куклин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и БЖД»  
 П. В. Матвеев, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Экология и БЖД»  
 Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
 им. Д. Ф. Устинова

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье рассматривается расчет эффективности малых акустических экранов (средств ближней звукоизоляции) для защиты от шума железнодорожного транспорта. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных значений эффективности средств ближней звукоизоляции.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, малый акустический экран, средство ближней звукоизоляции, эффективность.

### Введение

В нашей стране железнодорожный транспорт все чаще становится причиной жалоб населения на повышенный шум. Сегодня повышенный шум входит в тройку наиболее вредных экологических факторов. Особенно заметна эта проблема в городах. В Постановлении Правительства Москвы от 16 октября 2007 г. № 896-ПП «О концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве», отмечается, что «...в настоящее время почти на всем протяжении железнодорожных линий нарушена 100-метровая ширина зоны санитарного разрыва. Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в среднем на 10–20 дБА над фоновыми значениями шума на прилегающей жилой территории, что вызывает большое количество обращений жителей с жалобами на повышенный шум.

Основная причина возникновения шума при движении поездов – явления, возникающие при взаимодействии колеса с рельсом [1]. При контакте колеса с рельсом неровности на поверхностях катания вызывают возникновение вибраций этих элементов и подвижного состава. Вибрирующие поверхности излу-

чают звук, который называется шумом качения. Для снижения шума качения применяют всевозможные накладки на шейку рельса, колесные абсорберы, оптимизируют форму колеса и т. п. При этом применение средств снижения шума качения в источнике не обеспечивает снижения шума до требуемых величин. Учитывая, что основой шума железнодорожного транспорта является шум качения [2], можно сильно сократить стоимость применяемых мероприятий. Для этого необходимо перекрыть область образования основного шума, то есть подвагонное пространство. Для этого на пути распространения от источника устанавливаются средства ближней звукоизоляции (СБЗ).

### Расчет малых акустических экранов

В качестве такого средства может рассматриваться преграда в виде малого акустического экрана, расположенного вблизи головки рельса в пределах разрешенных габаритов. Таким образом, получается замкнутый объем между кузовом вагона и преградой с наличием длинного проема. Расчетная схема такого устройства показана на рис. 1.

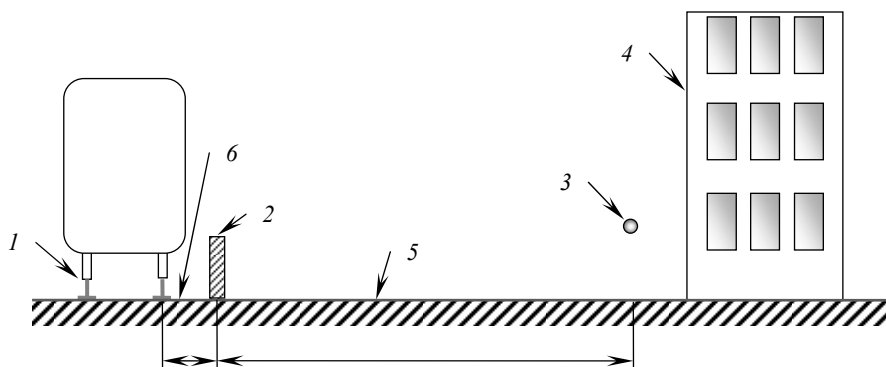


Рис. 1. Расчетная схема средств ближней звукоизоляции:

1 – источник шума (пара колесо – рельс); 2 – СБЗ; 3 – расчетная точка (РТ); 4 – защищаемый от шума объект; 5 – опорная поверхность между СБЗ и РТ; 6 – опорная поверхность между источником шума и СБЗ

Акустическая эффективность средства ближней звукоизоляции определяется:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{I_{РТ}^{б/с}}{I_{РТ}^{с/с}}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где  $I_{РТ}^{б/с}$  – интенсивность звука в РТ без средства ближней звукоизоляции, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{РТ}^{с/с}$  – интенсивность звука в РТ с установленным средством ближней звукоизоляции, Вт/м<sup>2</sup>.

Вывод формулы осуществляется в соответствии с алгоритмом, изложенным в [3].

Рассматривается звуковое поле в замкнутом объеме, образованное:

- элементами подвижного состава (тележка, нижняя часть корпуса подвижного состава);
- отражающей поверхностью между источником шума и СБЗ;
- свободным проемом в верхней части;
- ближним средством звукоизоляции.

Основные допущения, принятые при выводе формулы:

- звуковое поле в полужамкнутом объеме принимается квазидиффузным;
- источник шума (ИШ) принят линейным излучателем;
- высота источника шума принята равной высоте СБЗ ( $h_3$ ), т. е.  $h_{ист} = h_3$ ;
- длина ИШ ( $l_{ист}$ ) принята равной длине СБЗ ( $l_3$ ), т. е.  $l_{ист} = l_3$ ;

- свободное ребро СБЗ принято вторичным линейным излучателем;
- в связи с малой высотой СБЗ учитываются поглощающие свойства опорной поверхности между СБЗ и расчетной точкой.

Интенсивность звука без установленного СБЗ:

$$I_{PT}^{6/c} = \frac{w_{ист}}{2\pi l_3 (r + R)} \arctg \frac{l_3}{2(r + R)}, \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где  $l_3$  – длина СБЗ, м;  $w_{ист}$  – акустическая мощность источника, Вт;  $r$  – расстояние от ИШ до СБЗ, м;  $R$  – расстояние от СБЗ до РТ, м.

Путем последовательных преобразований выведем формулу для расчета  $I_{PT}^{6/c}$ .

Звук, падающий на верхнее свободное ребро СБЗ:

$$I_{пад} = \frac{4w_{ист}}{\Psi_{об} B_{об}}, \quad (3)$$

где  $\Psi_{об}$  – коэффициент, показывающий степень диффузности звукового поля в объеме;  $B_{об}$  – акустическая постоянная объема,  $\text{м}^2$ .

$$B_{об} = \frac{A_{об}}{1 - \bar{\alpha}_{об}} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{(1 - \bar{\alpha})}, \quad (4)$$

где  $A_{об}$  – эквивалентная площадь поглощающего незамкнутого объема,  $\text{м}^2$ ;  $\alpha_i$  – коэффициент звукопоглощения  $i$ -й поверхности, образующей незамкнутый объем площадью  $S_i$ ;  $\bar{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения незамкнутого объема.

$$B_{об} = \frac{l_3 h_3 \alpha_3 + l_3 h_3 \alpha_n + l_3 r \alpha_n + l_3 r}{(1 - \bar{\alpha}_{об}) \Psi_{об}} = \frac{c_3 (h_3 \alpha_3 + h_3 \alpha_n + r \alpha_n + r)}{(1 - \bar{\alpha}_{об}) \Psi_{об}}, \text{ м}^2, \quad (5)$$

где  $h_3, l_3$  – высота и длина СБЗ соответственно, м;  $\alpha_3$  – коэффициент звукопоглощения СБЗ;  $\alpha_n$  – коэффициент звукопоглощения источника шума (со стороны СБЗ).

Значение  $\bar{\alpha}_{об}$  определяется

$$\bar{\alpha}_{об} = \frac{A_{об}}{S_{об}}, \quad (6)$$

где  $S_{об}$  – площадь всех поверхностей, образующих незамкнутый объем,  $\text{м}^2$ :

$$S_{об} = 2S_3 + 2S_n = 2(S_3 + S_n), \quad (7)$$

где  $S_3 = h_3 l_3$ ;  $S_n = h_3 r$ .

Для удобства пользования формулой для расчетов приведем значение коэффициентов звукопоглощения отражающе-поглощающего СБЗ и других поверхностей, образующих незамкнутый объем (таблица).

**Коэффициенты звукопоглощения**

Наименование отражающе-поглощающей поверхности или условной поверхности	Значения $\alpha$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
СБЗ	0,8	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7
Отражающая поверхность (щебень)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Свободная поверхность	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Поверхность ИШ	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Опорная поверхность	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,21

После некоторых преобразований формула (3) может быть представлена в виде:

$$I_{пад} = \frac{4w_{ист} (1 - \alpha_{об})}{l_3 (h_3 \alpha_3 + h_3 \alpha_n + r \alpha_n + r) \Psi_{об}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (8)$$

Акустическая мощность, излучаемая верхним свободным ребром СБЗ;

$$W_p = I_{пад} l_3 \lambda \beta_{дифр}, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  – длина звуковой волны, м;  $\beta_{дифр}$  – коэффициент дифракции СБЗ.

Интенсивность звука в расчетной точке с учетом звукопоглощающих свойств опорной поверхности:

$$I_{PT}^{c/c} = \frac{w_p (1 - \alpha_{пов})}{2\pi l_3 R} \arctg \frac{l_3}{2R}, \quad (10)$$

где  $R$  – расстояние от СБЗ до расчетной точки, м;  $\alpha_{пов}$  – коэффициент звукопоглощения поверхности между СБЗ и РТ.

Подставим (8), (9) в (10):

$$I_{PT}^{c/c} = \frac{4w_{ист} (1 - \alpha_{об}) (1 - \alpha_{пов}) \arctg \frac{l_3}{2R} \lambda_3 \beta_{дифр}}{\Psi_{об} l_3 (h_3 \alpha_3 + h_3 \alpha_n + r \alpha_n + r) 2\pi l_3 R}, \text{ Вт/м}^2. \quad (11)$$

После преобразований подставим (2), (11) в (1):

$$\Delta L_{СБЗ} = 10 \lg \frac{w_{ист} \Psi_{об} l_3 (h_3 \alpha_3 + h_3 \alpha_n + r \alpha_n + r) 2\pi l_3 R}{2\pi l_3 (r + R) 4w_{ист} (1 - \alpha_{об}) (1 - \alpha_{пов}) \lambda_3 \beta_{дифр}} \times \arctg \frac{l_3}{2(R+r)} \times \frac{\arctg \frac{l_3}{2R}}{\arctg \frac{l_3}{2R}}. \quad (12)$$

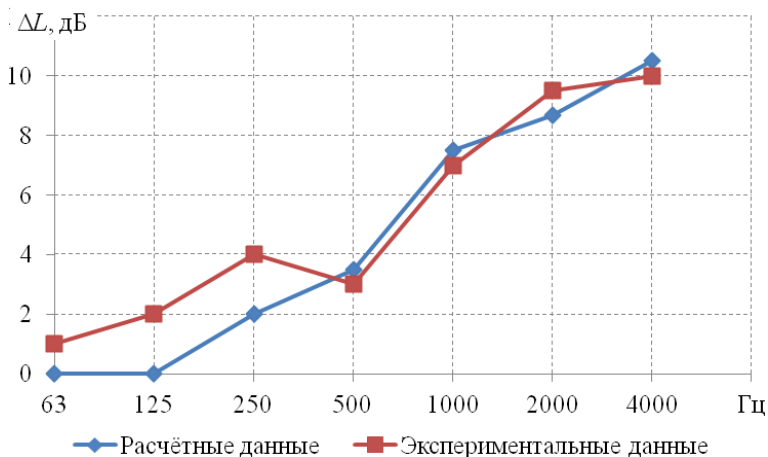


Рис. 2. Акустическая эффективность СБЗ: 1 — расчет, 2 — эксперимент

Сравнение с результатами эксперимента показывает, что формула несколько хуже работает на низких частотах, но на средних и высоких частотах (500–4000 Гц) отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 0,5–1,5 дБ. Формула дает приемлемую точность при оценке в дБА (условно принимаем значения полученные на 1000 Гц).

После преобразований, приняв, что  $R \approx R + r$ , получим:

$$\Delta L_{СБЗ} = 10 \lg \frac{(h_3 \alpha_3 + h_3 \alpha_n + r \alpha_n + r)}{\lambda} + 10 \lg \Psi_{об} - 10 \lg (1 - \alpha_{об}) - 10 \lg (1 - \alpha_{пов}) + 10 \lg \frac{1}{\beta_{дифр}} - 6, \text{ дБ}. \quad (13)$$

### Экспериментальная проверка

Выполним вычисления по формуле (13), приняв из [4] – показатель дифракции (ПД), который определяется экспериментально. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

### Библиографические ссылки

1. Remington P. J. Wheel/Railrollingnoise, I: theoreticalanalysis // 1987 Journal of the Acoustical Society of America 81, 1805–1823.
2. Куклин Д. А., Матвеев П. В. Моделирование структурного шума возникающего при контакте рельса и колеса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16; № 1 (5).
3. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник. – М. : Логос, 2010. – 424 с.
4. Там же.

\*\*\*

Kuklin D. A., PhD in Engineering, Associate Professor, Baltic State Technical University “Voenmeh” named after D.F. Ustinov;  
Matveyev P. V., PhD in Engineering, Baltic State Technical University “Voenmeh” named after D.F. Ustinov

### Calculation of railway small screen efficiency

The paper considers the calculation of efficiency of small acoustic screens (means of short-distance sound insulation) to prevent the railway transport from noise. Calculated and experimental values of efficiency of short-distance sound insulation means are compared.

**Keywords:** railway transport, small acoustic screen, means of short-distance sound insulation, efficiency.