

УДК 622.878

**Б.А. Гузь**, канд. техн. наук, доц.  
Криворожский технический университет

## МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПЛОСКИХ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

*Приводятся аналитические зависимости для определения уровней звукового давления плоских источников шума. Выполнена оценка точности определения уровней источников неразрушающими методами шумового контроля.*

**горные машины, механический шум, плоские источники, разделение источников шума**

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Обязательной составляющей работ по шумозащите рабочих мест операторов горных машин является определение количественного вклада отдельных источников шума изделия в его суммарный шум. Такие данные необходимы для установления первоочередности и последовательности выполнения шумозащитных мероприятий, и оценки эффективности применяемых средств.

**Анализ исследований и публикаций.** Ряд конструкций горных машин являются компактными механическими агрегатами, не содержащими автономно работающих узлов. Для оценки источников шума таких машин используются неразрушающие методы шумового контроля, которые проводятся без предъявления дополнительных требований к функционированию отдельных узлов и агрегатов. При исследованиях механического шума машин, имеющих цилиндрическую форму, с этой целью применяются экспериментальный, экспериментально-расчетный и экспериментально-аналитический методы [1 - 3].

Разработка указанных методов и оценка вносимых ими погрешностей выполнены с использованием приближенной теории излучения звука цилиндрическими источниками шума [1]. Ряд конструкций горных машин содержит плоские источники шума, шумоизлучение которых указанная теория не описывает.

**Постановка задачи.** Целью настоящей статьи является разработка теоретической модели излучения звука плоскими источниками и оценка на её основе возможностей неразрушающих методов шумового контроля и вносимых указанными методами погрешностей.

**Изложение материала и результаты.** Точность определения уровней шума в указанных методах возрастает при уменьшении из-

мерительного расстояния от поверхности источника шума до точек измерений. Минимальная величина указанного расстояния ограничивается выполнением предположений дальнего звукового поля, однако критерии, по которым установлено указанное расстояние для цилиндрических источников шума, непригодны для плоских источников ввиду существенных отличий характеристик звукоизлучения.

Волновая теория излучения звука плоскими источниками достаточно изучена для приближения плоского излучателя в жестком экране [4]. Круглый поршневой излучатель создает сложное звуковое поле, в котором выделяют область вблизи источника шума, область ближнего поля (френелевой дифракции), переходную область и область дальнего звукового поля (волновую область).

В области френелевой дифракции на оси излучателя имеют место осцилляции амплитуды звукового давления с расстоянием, а в начале переходной области формируется звуковое поле, описываемое уравнением квазиплоской звуковой волны. При нахождении точек измерений в указанных областях результаты определения уровней звукового давления разных источников будут несопоставимыми.

Поэтому точки наблюдения должны находиться в области дальнего звукового поля, которое обеспечивается на расстоянии [5]

$$r \geq \sqrt{S} , \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от акустического центра источника до точки измерений;  $S$  – площадь источника.

При выполнении условия (1) закон спада уровня плоских источников соответствует точечному источнику шума [5], тогда распространение звука от источников к точкам наблюдения можно описать линейной теорией звука в приближении точечных источников.

Расчетная схема для плоских источников шума  $I$  и  $II$  показана на рис. 1.

Уровни звукового давления в точках  $1$  и  $2$  по центру источников составляют  $L_1$  и  $L_2$ . Расстояние  $r$  выбрано согласно (1) по площади  $S_1$  источника  $I$  ( $S_1 > S_2$ ).

Суммарный (измеряемый) уровень звукового давления в точке  $1$  определится выражением

$$L_{изм1} = 10 \lg [10^{0,1L_1} + (r^2 / d_{21}^2) \cdot 10^{0,1L_2} ] ,$$

которое после подстановки величины  $d_{21}^2 = r_1^2 + r^2$  и параметра  $m = r_1 / r$  преобразуется к виду

$$L_{узм1} = 10 \lg \{10^{0,1L_1} + [1/(m^2 + 1)] \cdot 10^{0,1L_2}\}. \quad (2)$$

Аналогічно знаходиться величина рівня в точці 2

$$L_{узм2} = 10 \lg \{[1/(m^2 + 1)] \cdot 10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2}\}. \quad (3)$$

Для квадратних джерел з розмірами  $l_1$  і  $l_2$  параметр  $m = 0,5(n_1 + n_2)$ , де  $n_1 = l_1/r$  і  $n_2 = l_2/r$ , а для круглих джерел з радіусами  $R_1$  і  $R_2$  ( $R_1 > R_2$ ):  $m = (1 + R_2/R_1)/\sqrt{\pi}$ .

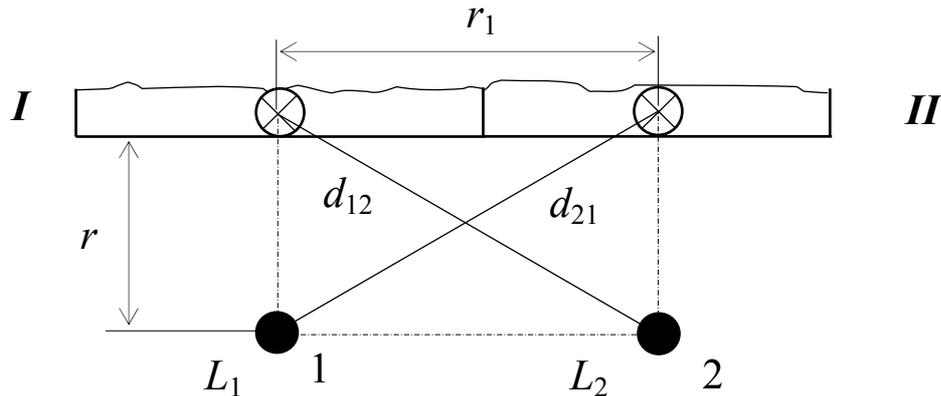


Рисунок 1. – К знаходженню рівнів шуму плоских джерел

Суммарні рівні звукового тиску в точках спостереження при наявності трьох і більше плоских джерел знаходяться аналогічно.

При введенні величини різниці рівнів стороннього і досліджуваного джерел шуму  $L_2 - L_1 = \delta$  довідка до рівню  $L_1$  джерела I визначиться виразом

$$\Delta_{узм} = 10 \lg \{1 + [1/(m^2 + 1)] \cdot 10^{0,1\delta}\}. \quad (4)$$

В експериментально-розрахунковому методі рівні звукового тиску джерел  $L_{узм}^{(1)}$  і  $L_{узм}^{(2)}$  вимірюються в точках, розташованих на одній лінії по нормалі до випромінюючої поверхні, з знаходженням рівня джерела в дальній точці спостереження по формулі [6]

$$L_{расч} = 10 \lg [(10^{0,1L_{узм}^{(1)}} - 10^{0,1L_{узм}^{(2)}}) / (10^{0,1\Delta L} - 1)],$$

де  $\Delta L$  - зниження рівня на відстані між точками.

Для точкових джерел шуму відстань від джерела до дальньої точки приймається рівною  $\sqrt{2}r$ , тоді  $\Delta L = 3$  дБ.

Довідка до рівню джерела I в даному випадку становить

$$\Delta_{расч} = 10 \lg \left[ 1 + \frac{2}{(m^2 + 1)(m^2 + 2)} \cdot \frac{10^{0,1\delta}}{10^{0,1\Delta L} - 1} \right]. \quad (5)$$

Зависимости величин  $\Delta_{изм}$  и  $\Delta_{расч}$  от разности уровней  $\delta$ , построенные по формулам (4) и (5) для источников квадратной и круглой формы, показаны на рис. 2.

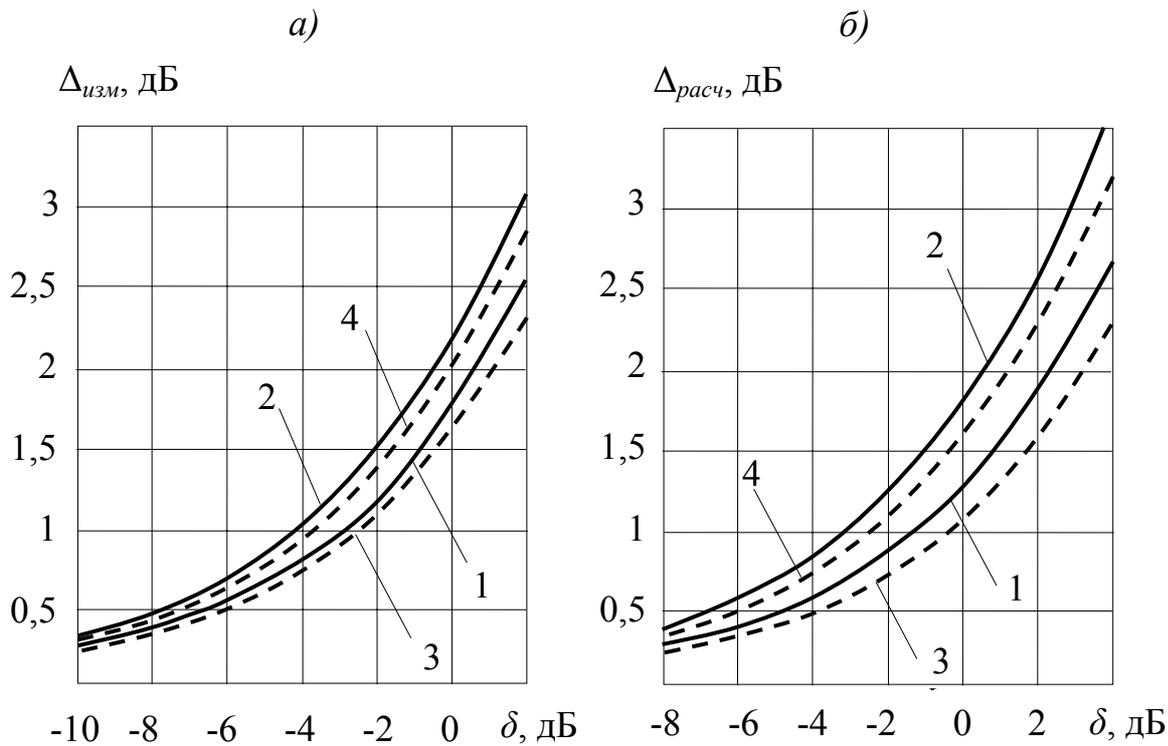


Рисунок 2. – Зависимости добавки к уровню источника  $I$  от разности уровней:  $a$  – экспериментальный метод;  $b$  – экспериментально-расчетный метод: 1 –  $l_1 = l_2$ ; 2 –  $l_2 = 0,5l_1$ ; 3 –  $R_1 = R_2$ ; 4 –  $R_2 = 0,5R_1$

В экспериментальном методе наибольшая точность измерений соответствует одинаковой ширине плоских источников шума (рис. 2  $a$ , кривые 1 и 3). При этом измерения с точностью до 0,5 дБ возможны в случаях, когда уровень исследуемого источника больше уровня стороннего на 6 дБ и более ( $\delta \leq -6$  дБ). При уменьшении ширины стороннего источника в 2 раза величина  $\Delta_{изм} = 0,5$  дБ соответствует разности уровней -8 дБ (кривые 2 и 4).

В экспериментально-расчетном методе при одинаковых размерах источников шума определение уровня источника  $I$  с точностью до 0,5 дБ возможно в случаях, когда уровень исследуемого источника больше уровня стороннего на 5 дБ ( $\delta \leq -5$  дБ) для квадратных и на 4 дБ для круглых источников (рис. 2  $b$ , кривые 1 и 3).

Следовательно, ввиду соизмеримости измерительного расстояния и поперечного размера источников, данные методы позволяют только выделить источники с наибольшими уровнями шума.

В экспериментально-аналитическом методе уровни шума источ-

ников находятся в результате решения системы неоднородных линейных уравнений. Для двух источников шума (см. рис. 1) преобразование выражений (2) и (3) дает систему уравнений

$$\begin{cases} 10^{0,1L_1} + [1/(m^2 + 1)] \cdot 10^{0,1L_1} = 10^{0,1L_{изм1}}; \\ [1/(m^2 + 1)] \cdot 10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} = 10^{0,1L_{изм2}}, \end{cases}$$

решения которой имеют вид

$$\begin{aligned} L_1 &= 10 \lg \{k[(m^2 + 1)10^{0,1L_{изм1}} - 10^{0,1L_{изм2}}]\}; \\ L_2 &= 10 \lg \{k[(m^2 + 1)10^{0,1L_{изм2}} - 10^{0,1L_{изм1}}]\}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $k = (m^2 + 1)/m^2(m^2 + 2)$ .

Уровни звукового давления  $L_1$  и  $L_2$ , определяемые выражениями (6), являются точными величинами, не зависящими от расстояний до источников шума, поскольку расстояния учтены в расчетной схеме. Если не рассматривать погрешности, обусловленные принятой теоретической моделью, то ограничениями достоверности определения уровней являются погрешности измерений и технические возможности применяемой измерительной аппаратуры.

Технические возможности измерительного тракта определяются величиной минимальной добавки  $\Delta_{zp}$  к уровню звукового давления сторонних источников от исследуемого источника шума, которую можно достоверно определить. Это касается источников шума с наименьшими уровнями звукового давления.

Шумоизмерительные приборы позволяют измерять уровень звукового давления с точностью до 0,1 дБ, однако реализация такой точности даже при постоянном шуме требует большого объема выборки измеряемых значений уровней с определением предельной случайной погрешности. При использовании простых шумоизмерительных приборов реальными являются измерения с величиной  $\Delta_{zp} = 0,5$  дБ.

Величине  $\Delta_{zp}$  соответствует разность уровней стороннего и исследуемого источников

$$\delta \leq 10 \lg [(m^2 + 1)/(10^{0,1\Delta_{zp}} - 1)]. \quad (7)$$

Неравенство (7) определяет предельную разность уровней источников, при которой возможна достоверная количественная оценка источника с меньшим уровнем шума. Из (7) находится условие выявления ошибки в решении системы уравнений для источника с меньшим уровнем

$$\Delta_{zp} \geq 10 \lg[1 + (m^2 + 1)/10^{0,1\delta}].$$

Входящая в приведенное неравенство разность уровней  $\delta$  определится из решений (6). Если величина  $\Delta_{zp}$  окажется меньше погрешности измерений, вычисленной при статистической обработке результатов, то полученное значение уровня  $L_1$  может быть недостоверным. Это означает, что в решения (6) входит величина  $L_{изм1}$ , которая может отличаться от фактической на десятые доли дБ.

Зависимости предельной разности уровней от величины  $\Delta_{zp}$  для источников шума квадратной формы, вычисленные по зависимости (7), показаны на рис. 3.

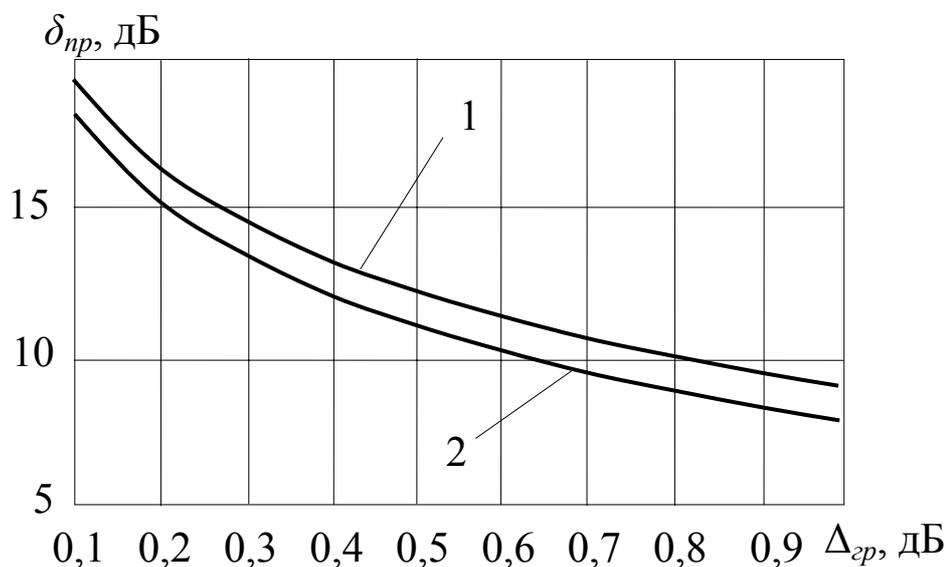


Рисунок 3. – Зависимости предельной разности уровней от величины  $\Delta_{zp}$ : 1 –  $m = 1$ ; 2 –  $m = 0,75$

Данный метод обеспечивает нахождение истинных величин уровней шума источников при разности уровней намного большей, чем в предыдущих методах. При величине  $\Delta_{zp} = 0,5$  дБ количественная оценка источников с низкими уровнями шума ( $\delta > 0$ ) возможна при разности уровней 11-12 дБ (см. рис. 3).

Для трех источников шума разность уровней в предельном случае уменьшится на 3 дБ, а при большем числе источников дальнейшее уменьшение величины  $\delta_{пр}$  будет незначительным ввиду удаленности источников от точки наблюдения. Обеспечиваемая методом предельная разность уровней достаточна для большинства случаев, встречающихся на практике.

Следовательно, только данный метод позволяет выполнить полную количественную оценку плоских источников шума.

Экспериментально-аналитический метод использовался при

проведении работ по снижению шума горного комбайна КМШ-А. Уровни шума на рабочем месте машиниста полностью определялись шумом рабочего органа комбайна, составляя 94 дБ А при работе вхолостую и 95 дБ А при отбойке горной массы. Сходные характеристики шумоизлучения имели и другие модификации горных комбайнов для добычи марганцевых руд (КМШ-3,5, КДР5 и КДР7).

В состав рабочего органа комбайна входили приводной электродвигатель и раздаточный редуктор, обеспечивающий вращение шнекового исполнительного органа и погрузочного конвейера. Точки измерений располагались на расстоянии 0,15 м от поверхности источников: 1 – электродвигатель; 2 – входная ступень редуктора; 3 – вал отбора мощности конвейера; 4 – выходная ступень; 5 – опора шнека.

Для составления системы уравнений использовались рабочие чертежи редуктора комбайна. Система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} 10^{0,1L_1} + 0,384 \cdot 10^{0,1L_2} + 0,096 \cdot 10^{0,1L_3} + 0,028 \cdot 10^{0,1L_4} + 0,014 \cdot 10^{0,1L_5} = 2,041 \cdot 10^{10}; \\ 0,384 \cdot 10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + 0,223 \cdot 10^{0,1L_3} + 0,044 \cdot 10^{0,1L_4} + 0,018 \cdot 10^{0,1L_5} = 1,445 \cdot 10^{10}; \\ 0,096 \cdot 10^{0,1L_1} + 0,223 \cdot 10^{0,1L_2} + 10^{0,1L_3} + 0,123 \cdot 10^{0,1L_4} + 0,032 \cdot 10^{0,1L_5} = 2,512 \cdot 10^{10}; \\ 0,028 \cdot 10^{0,1L_1} + 0,044 \cdot 10^{0,1L_2} + 0,123 \cdot 10^{0,1L_3} + 10^{0,1L_4} + 0,123 \cdot 10^{0,1L_5} = 1,445 \cdot 10^{10}; \\ 0,014 \cdot 10^{0,1L_1} + 0,018 \cdot 10^{0,1L_2} + 0,032 \cdot 10^{0,1L_3} + 0,123 \cdot 10^{0,1L_4} + 10^{0,1L_5} = 2,188 \cdot 10^{10}. \end{cases}$$

Определитель системы уравнений и определители решений находились с помощью компьютерной программы *Mathcad* 14.0.

Согласно найденным значениям уровней источников прямые измерения экспериментальным методом позволяют определить с допустимым завышением на 0,4-0,8 дБ уровни звука в точках 1, 3 и 5, но уровни звука входной и выходной ступеней редуктора завышаются, соответственно, на 7,6 и 2,1 дБ.

Нахождение истинных величин уровней звука источников данным методом позволило уточнить содержание работ по снижению шума рабочего органа комбайна. Реализация конструктивных и технологических мероприятий обеспечила снижение шума на рабочем месте машиниста на 6 дБ А.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований обоснованы методы количественного разделения уровней плоских источников шума горных машин. Полную оценку источников обеспечивает экспериментально-аналитический метод, основанный на

синтезе результатів вимірювань і розрахунків, які базуються на теоретичних положеннях лінійної теорії звуку.

Использование экспериментально-аналитического метода разделения источников шума расширяет возможности проведения исследований и повышает эффективность выполнения работ по шумозащите рабочих мест операторов горных машин.

Список источников:

1. Гузь Б.А. Нахождение уровней звукового давления цилиндрических источников шума горных машин при экранировании точек измерений торцовыми поверхностями / Б.А. Гузь. – Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2009. – Вип. 23. – С. 120-124.
2. Гузь Б.А. Неразрушающий метод количественного разделения источников шума машин и оборудования / Б.А. Гузь. – *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 2. – С. 244-247.
3. Гузь Б.А. Разработка экспериментально-аналитического метода определения уровней звукового давления источников шума горных машин / Б.А. Гузь. – Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку - 2010: міжнародна науково-технічна конференція [матеріали конференції]. – Кривий Ріг: КТУ. – С. 199-200.
4. Лепендин Л.Ф. Акустика: учебное пособие для втузов / Л.Ф. Лепендин. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
5. Борьба с шумом на производстве: справочник/ [под общ. ред. Е.Я. Юдина]. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
6. Гузь Б.О. Неруйнуючий метод розділення джерел шуму гірничих машин / Б.О. Гузь. – Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2003. – Вип. 2. – С. 94-99.

**Б.О. Гузь. Методи кількісної оцінки плоских джерел шуму підземних гірничих машин.** *Наводяться аналітичні залежності для визначення рівнів звукового тиску плоских джерел шуму. Виконано оцінку точності визначення рівнів джерел неруйнівними методами шумового контролю.*

**гірничі машини, механічний шум, плоскі джерела, розділення джерел шуму**

**B.Guz. Methods to quantify the flat sources of noise of underground mining machines.** *We derive analytic expressions for determining the sound pressure levels of flat noise sources. Determined the accuracy of measurements of levels of sources using the methods of nondestructive testing of noise.*

**mining machines, mechanical noise, sources flat, the separation of noise sources**

Стаття надійшла до редколегії 07.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.С.Рудь

© Б.А. Гузь, 2010