

УДК 613.6:644

Афанасьев В.Д.

К ОСОБЕННОСТЯМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ УДАРОВ РЕЗИНОВЫМИ ФУТЕРОВКАМИ

Розглянуто випромінювання ударного шуму сталевими пластинами при їх збудженні вільно падаючими сталевими кулями. Отримано дані про вплив сталевих та гумових футеровок на частотні характеристики пластин і особливості ізоляції удару гумовими футеровками.

TO FEATURES OF AN ESTIMATION OF PERFORMANCE OF INSULATION OF SHOCKS BY A RUBBER SHEETINGS

The features of radiation of shock noise by steel planes are considered at their excitation by freely falling steel spheres. The data on influence of steel and rubber sheetings on frequency the characteristics of plates and feature of isolation of impact by rubber sheetings are received.

Резиновые футеровки все более широко рекомендуются для использования в промышленности вместо специальных стальных [1, 2, 3]. Попытки оценки изоляции ударов и величин снижения при этом ударного шума при применении эластомерных конструкций для различного дробильно-измельчительного оборудования (подситников и резиновых сит в грохотах, резиновых футеровок в вибрационных питателях и желобах, а также в шаровых, рудногалечных и мельницах самоизмельчения) приводят к существенному искажению в сторону уменьшения их эффективности. Последнее определяется невозможностью полного исключения влияния помех от соседнего работающего оборудования однотипного или последовательно включенных в технологическую цепь аппаратов. Отрицательно сказывается на такую оценку шум приводов и неучитываемых особенностей излучения ударного шума элементами конструкций, на которых устанавливаются резиновые футеровки. Немаловажное значение имеют и способы закрепления резиновых футеровок на несущих элементах: наличие болтового крепления, прижимных стальных пластин и лифтеров.

В качестве объекта для исследования влияния ряда факторов, о которых отмечено выше, выбрана однородная стальная пластина постоянной толщины h с размерами сторон a и b и соотношении сторон в диапазоне от 1,1 до 1,4, что характерно для применяемых в промышленности прямоугольных пластин. Для определенности принято, что края пластины по всей их длине жестко закреплены.

Известно [4, 5], что формирование частотных характеристик излучаемых уровней ударного шума определяется особенностями возбуждения собственных мод колебаний пластины f_{mn} , коэффициентами излучения мембранных K_{nm} и изгибных K_{ni} колебаний, коэффициентом потерь K_{η} , а также формой возбуждаемых в пластине ударных импульсов.

В случае возникновения мембранных колебаний (диапазоны низких частот) коэффициент излучения K_{nm} зависит от геометрических размеров и частоты излучения и определяется из выражения

$$10 \lg K_{им} = \begin{cases} 41,0 \lg fd - 93 & \text{для } f \leq 200/d; \\ 0 & \text{для } f \geq 400/d, \end{cases} \quad (1)$$

где $d = 1,13\sqrt{ab}$ — характерный размер излучающей прямоугольной пластины.

При возникновении изгибных колебаний (для случая, когда длина изгибной волны $\lambda_{изг} \geq 6h$) коэффициент излучения $K_{им}$ определяется из выражения

$$10 \lg K_{им} = \begin{cases} 7,0 \lg f/f_{кр} - 4 & \text{для } f \leq 0,75 f_{кр}; \\ 0 & \text{для } f \geq 2 f_{кр}, \end{cases} \quad (2)$$

где $f_{кр} = \frac{C_0^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{E}}$ — критическая частота, Гц;

C_0 — скорость звука в воздухе, м/с;

ρ — плотность материала пластины, кг/м³;

ν — коэффициент Пуассона;

E — модуль Юнга, Н/м².

Для многомодового возбуждения колебаний прямоугольной пластины при жестком закреплении ее краев собственные моды колебаний f_{mn} определяются из выражения

$$f_{mn} = \frac{\pi\lambda}{2a^2} \sqrt{\frac{D}{M}}, \quad (3)$$

где $\lambda = \sqrt{G_x^4 + \frac{a^4}{b^4} G_y^4 + 2\frac{a^2}{b^2} [\nu H_x H_y - (1-\nu) J_x J_y]}$;

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ — цилиндрическая жесткость пластины, Н/м;

$M = \rho h$ — поверхностная масса пластины, кг/м².

Для принятых выше соотношений сторон пластины a и b с точностью до 15 % можно получить значение f_{mn} из выражения

$$f_{mn} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{m}{a^2} + \frac{n}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}}, \quad (4)$$

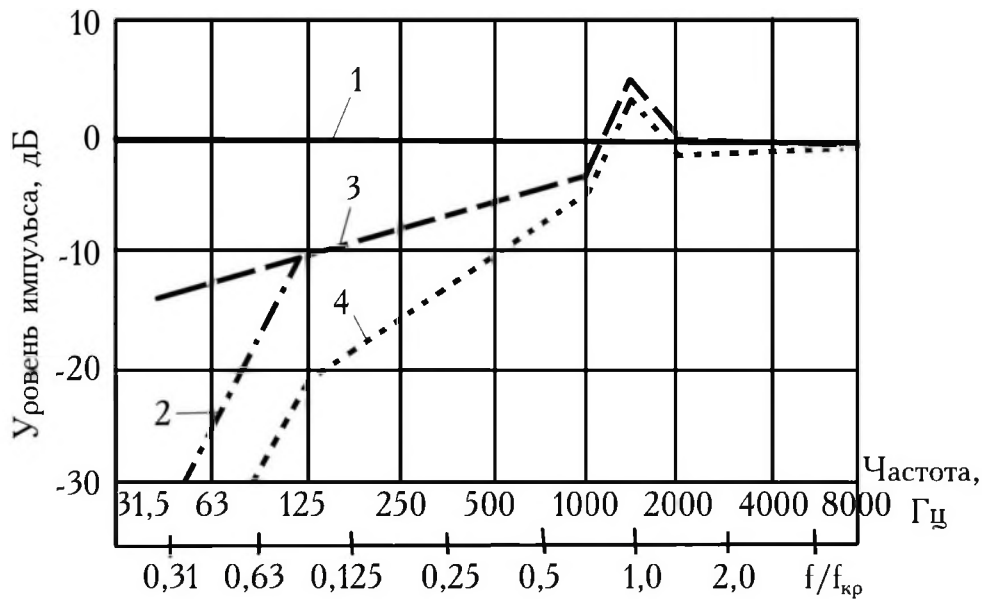
где $m, n = 2, 3, 4, \dots$ и их комбинации.

Подставив значение $f_{кр}$ из выражения (2) в (4) получим

$$f_{mn} = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{a^2} + \frac{n}{b^2} \right) \frac{C_0}{f_{кр}}, \quad (5)$$

где $C_0 = 331$ м/с; $f_{кр} = \frac{12000}{h}$ Гц; h — в мм.

Выбрав в качестве исследуемой стальную пластину размерами $2,0 \times 1,5 \times 0,08$ м, получим характеристику излучения при ударном возбуждении импульсом малой длительности с амплитудой импульса, равной единице (рис. 1). Кривая 4 получена при учете коэффициента потерь K_η согласно данным, представленным в работе [7].



1 — при действии единичного импульса; 2 — с учетом $K_{ин}$; 3 — с учетом $K_{ин}$; 4 — с учетом K_{η}

Рис. 1 — Частотные характеристики излучения ударного шума стальной пластиной при возбуждении импульсом единичной амплитуды ($\tau \rightarrow 0$)

При возбуждении пластины последовательностью импульсов полусинусоидальной формы огибающая спектра описывается выражением

$$L_s = 20 \lg \left| \frac{\cos \pi f h}{1 - 4(f\tau)^2} \right|, \text{ дБ для } f\tau \neq 0,5, \quad (6)$$

где τ — время соударения при возбуждении ударного шума свободно падающими шарами, с.

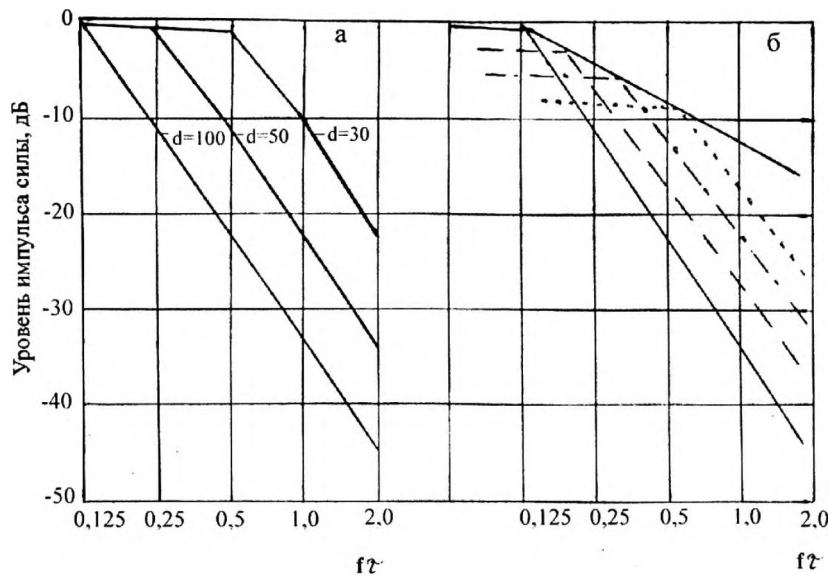
Время соударения для случая соударения стальных шаров о стальную пластину

$$\tau = 4,35 \cdot 10^{-5} d \cdot V^{-\frac{1}{5}} \quad (7)$$

где d — диаметр шаров, мм; V — скорость шара в момент начального контакта с пластиной, м/с.

Анализ выражения (6) показывает, что спад уровней ударного импульса с ростом величины $f\tau$ достигает для $0 \leq f\tau \leq 0,489$ 2 дБ/октаву, для значений $0,489 \leq f\tau \leq 2,0$ — 10 дБ/октаву, а для $f\tau \geq 2,0$ — 12 дБ/октаву.

При изменении диаметра шаров от 10 до 100 мм, свободно падающих с высоты 1 м, начало спада уровней импульса силы для значений $f\tau = 0,489$ будет перемещаться от 3200 Гц до 320 Гц. Т.е. формирование высокочастотной области спектра излучаемого ударного шума будет определяться временем соударения шара с пластиной (Рис. 2,а). При наличии в составе падающих шаров их смеси с диаметрами от 30 мм до 100 мм, что характерно для шаровых мельниц, формирование высококачественной области спектра будет зависеть как от τ , так и от величины ударного импульса. В таком случае спад уровней ударного импульса для $f\tau \geq 0,489$ будет отличаться от 10÷12 дБ/октаву, как это показано на рис. 2,б.



а — для шаров одинакового диаметра; б — для смеси шаров диаметром от 30 до 100 мм
Рис. 2 — Формирование высокочастотной области спектра при возбуждении пластины свободно падающими стальными шарами

При оценке эффективности изоляции ударного шума резиновыми футеровками целесообразно рассмотреть два случая: при установке резиновой футеровки на пластину и при установке ее вместо стальной футеровки. В первом случае оценивается собственная изоляция удара, во втором случае — фактическая изоляция удара.

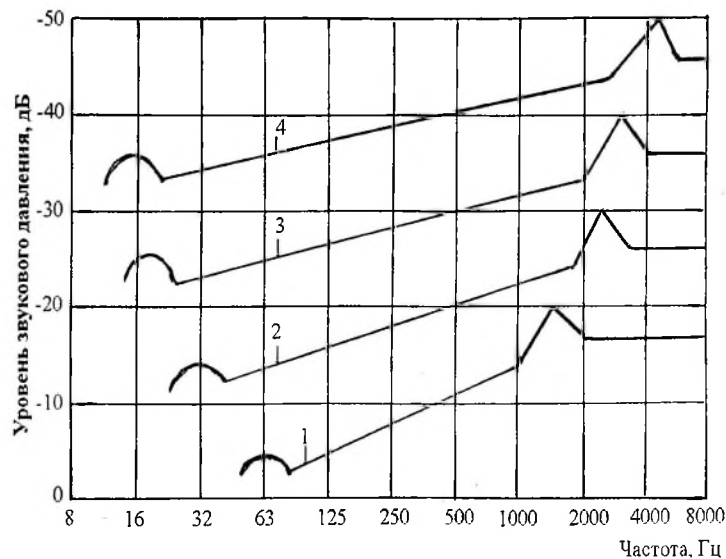
В связи с этим необходимо предварительно оценить влияние стальных футеровок на особенности преобразования частотной характеристики излучаемого ударного шума несущей пластиной. В работе [8] для случая, когда стальная футеровка не оказывает существенного влияния на цилиндрическую жесткость несущей пластины (мелкогабаритная футеровка с зазорами) установлено, что происходит смещение критической частоты $f_{кр}$ в область более высоких частот, которые определяются отношением $\sqrt{h_\phi/h}$. Низшие формы собственных колебаний f_{mn} смещаются в область более низких частот, которые определяются отношением $\sqrt{h/h_\phi}$, где h_ϕ — толщина футеровочных плит.

Снижение уровня ударного шума за счет стальной мелкогабаритной футеровки [9] определяется из выражения

$$\Delta L_{ст.ф.} = 15 \lg \left(\frac{h_\phi}{h} + 1 \right), \text{ дБ.} \quad (8)$$

Результаты исследований показали, что указанное выражение справедливо в диапазоне частот $f_{(2,2+3,3)} \leq f \leq 0,75 f_{кр}$ для несущей пластины без футеровки и в диапазоне частот $\sqrt{\frac{h}{h_\phi}} f_{(2,2+3,3)} \leq f \leq 0,75 \sqrt{\frac{h_\phi}{h}} f_{кр}$ для пластины с футеровкой толщиной h_ϕ . На рис. 3 показано изменение частотной характеристики в диапазоне низших мод собственных колебаний указанной выше стальной пластины толщиной 8 мм, критической частоты и уровня излучаемого ударного

шума при установке на пластину стальной футеровки толщиной 100 мм и ее износе до толщины 20 мм.



1 — пластина $h = 8$ мм; 2 — пластина $h = 8$ мм с футеровкой 25 мм; 3 — с футеровкой 50 мм; 4 — с футеровкой 100 мм

Рис. 3 — Изменение частотного диапазона излучения ударного шума стальной пластиной с футеровками

При оценке собственной изоляции ударного шума резиновой футеровкой величина ΔL_c с учетом данных, представленных в работах [2, 10] определяется из выражения

$$\Delta L_c = 30 \lg fM - 60, \text{ дБ}, \quad (9)$$

где M — характеристика мягкости резиновой футеровки, мм.

Для резиновых футеровок, применяемых в шаровых мельницах и мельницах самоизмельчения, значения M по результатам экспериментальных исследований находятся в пределах $(0,72 \div 1,00)$ мм при толщине футеровки $(80 \div 100)$ мм.

Учитывая установленную в [7] зависимость между M и τ достоверность выражения (9) будет в диапазоне частот $f \geq 90$ Гц.

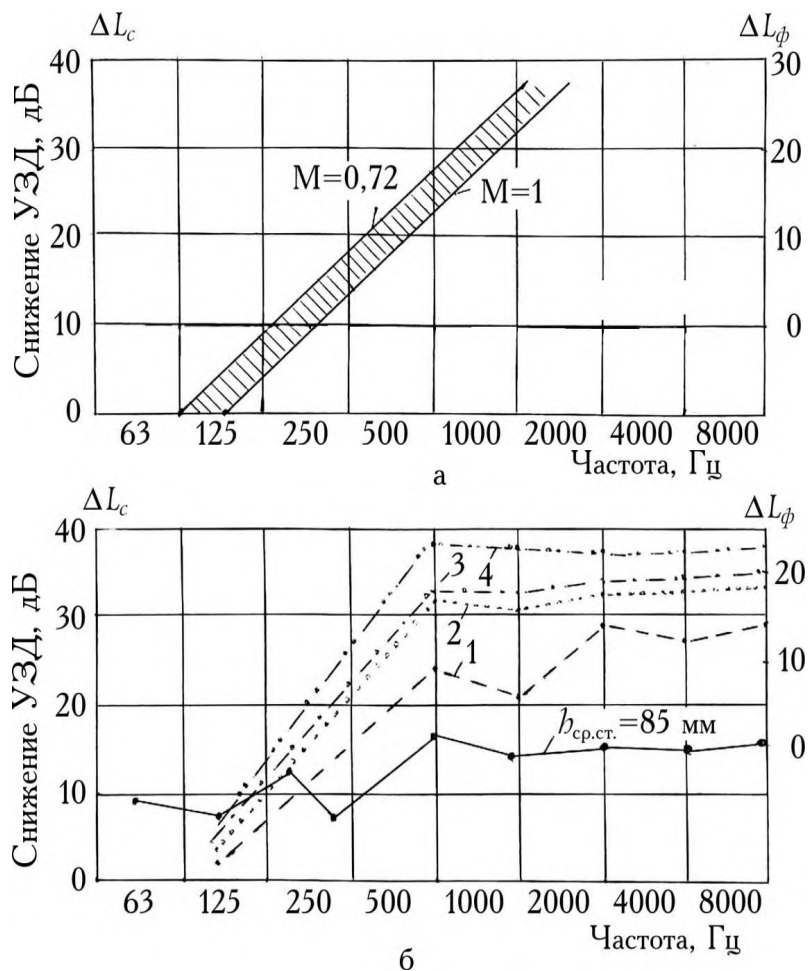
При оценке фактической изоляции ударного шума резиновыми футеровками (при замене ими равнотолщинных стальных футеровок)

$$\Delta L_{\phi} = \Delta L_c - \Delta L_{\phi.ст.}, \text{ дБ}, \quad (10)$$

где $\Delta L_{\phi.ст.}$ — определяется из выражения (8).

Собственная и фактическая изоляция ударного шума резиновыми футеровками показана на рис 4,а (расчетная) и рис. 4,б (экспериментальная).

Установлено, что для равнотолщинных стальных и резиновых футеровок частотный диапазон эффективной изоляции удара резиновой футеровки расширяется по отношению к изношенной стальной футеровке. Определено также, что снизить диапазон эффективного использования резиновых футеровок за счет увеличения их толщины ниже $(80 \div 90)$ Гц не удастся из-за независимости τ от толщины для случая, когда $h_{р.ф} \geq (5 \div 20)$ мм.



1 – толщиной 5 мм; 2 – толщиной 15 мм; 3 – толщиной 20 мм; 4 – толщиной 90 мм
Рис. 4 – Расчетная (а) и измеренная (б) эффективность резиновых футеровок

Экспериментально также определено, что в диапазоне частот $f \geq 800 \text{ Гц}$ эффективность резиновой футеровки не зависит от частоты, оставаясь на уровне (33÷36) дБ. В этом диапазоне частот при увеличении толщины более 30 мм она слабо зависит и от толщины резиновой футеровки. Поэтому резиновая футеровка выгодно отличается от стальной, поскольку с ее износом до 30 мм уровни ударного шума не повышаются.

Сопоставление диапазона эффективного излучения стальной пластины в диапазоне низких и высоких частот (рис. 1 и рис. 2) с частотными характеристиками снижения ударного шума резиновыми футеровками показывает, что в ряде случаев и высокая эффективность в области высоких частот не может быть эффективно использована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев В.Н., Дырда В.И., Надутый В.П. Резина в горном деле. - М.: Недра, 1974. -152 с.
2. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования / А.А. Тарасенко, Е.Ф. Чижик и др. - М.: Недра, 1985. - 204 с.
3. Дырда В.И., Чижик Е.Ф. Резиновые детали в машиностроении. -Днепропетровск.: Полиграфист, 2000. - 518 с.
4. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. Изд. 2-е перераб. и дополн. - М.: Стройиздат, 1969. - 184 с.
5. Защита от шума и вибрации в черной металлургии. 2-е изд., и доп. / Заборов В.И., Клячко Л.Н., Росин Г.С. М.: Металлургия, 1988. - 216 с.

6. Собственные колебания пластин и оболочек: Справочник / Гонткевич В.С.; Под ред. член-кор. АН УССР А.П. Филиппова. -Киев: Наукова думка, 1964. – 288 с.
7. Бородинский А.С., Спиридонов К.М. Снижение структурного шума в судовых помещениях. -Ленинград: Судостроение, 1974. – 221 с.
8. Ключкин И.И. К определению частот резонанса совпадения и звукоизолирующей способности перегородки с массивными накладками // Материалы VI Всесоюзной акустической конференции. -М.: Изд-во акустического ин-та, 1968. -С. 57-59.
9. Заборов В.И., Клячко Л.Н, Росин Г.С. Борьба с шумом методами звукоизоляции. -М.: Стройиздат, 1964. –122 с.
10. Ковригин С.Д., Косьмин Г.Т., Росин Г.С. Об оценке звукоизолирующих свойств полов из рулонных материалов // Материалы VI Всесоюзной акустической конференции. -М.: Изд-во акустического института, 1968. -С. 24-32.

УДК 678.4:539.3

Дырда В.И., Лисица Н.И., Заболотная Е.Ю.,
Твердохлеб Т.Е.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРА

Наведені основні результати по визначенню раціональних параметрів віброзахисних систем приборів, встановлених на транспортних засобах. Здійснена оцінка ефективності віброзахисту приборів при використанні віброізоляторів з суттєво нелінійними характеристиками.

DEFINITION OF RATIONAL ARGUMENTS OF VIBROISOLATING SYSTEM OF THE INSTRUMENT

The basic results on definition of rational arguments of vibrodefensive systems of instruments set on transportation facilities are given. The estimation of performance of vibrosecurity of instruments is realized at use of vibroisolators with essential by the nonlinear performances.

Приборы, установленные в транспортных средствах, подвергаются комплексному ударному и вибрационному воздействию со стороны последних в процессе их эксплуатации. Ударно-вибрационное воздействие носит характер кинематического возбуждения опоры, передаваемое через систему виброизоляции на приборы. В результате такого воздействия они испытывают смещение относительно опоры и силовое инерционное воздействие — реакция системы виброизоляции. Основными задачами противоударной и вибрационной защиты являются:

- снижение вибрационно-силового воздействия на приборы до безопасного уровня, обеспечивающего их нормальное функционирование;
- уменьшение величины смещения приборов относительно опор (прогиб виброизоляторов) до значений, обусловленных конструкционными и функциональными требованиями.

Как показывают исследования по противоударной виброизоляции, эти требования, при определенных условиях, могут стать несовместимыми. Эта несовместимость носит принудительный характер. В таких случаях возникает необходимость в проведении ряда дополнительных исследований и мероприятий с целью корректировки требований, предъявляемых к виброизолирующей системе приборов.