

УДК 534.282

## Методика расчета характеристик мобильных демпферов для использования на пластинчатых конструкциях холодильных машин

Канд. техн. наук, профессор **Рыков С.А.** n\_1\_all@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный Морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3

Канд. техн. наук **Кудрявцева И.В.** togg1@yandex.ru  
Университет ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49

Канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru  
Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Для полосового, целенаправленного демпфирования резонансных колебаний потолков, фундаментов и других подобных конструкций в настоящее время активно используются различные вибродемпфирующие покрытия. К их можно отнести сложность нанесения их на требующие изоляции конструкции, значительную массу этих покрытий и их недостаточную эффективность в низком и среднем диапазоне частот. В 80-е и 90-е разрабатывался вопрос использования для этих целей мобильных демпферов – локальных клиновидных поглотителей (ЛКП). Экспериментальные и теоретические исследования показали возможность применения ЛКП для широкополосного демпфирования колебаний фундаментов и других инженерных конструкций. В статье рассмотрен алгоритм расчета параметров ЛКП для их применения на пластинах. Так же приведены рекомендации по выбору конструкции лепестковых ЛКП. Приведен метод расчета количества и основных характеристик одно- и многолепестковых ЛКП, установленных на пластинчатых конструкциях.*

**Ключевые слова:** колебания, мобильный демпфер, локальный клиновидный поглотитель, холодильное оборудование, пищевое оборудование, виброизоляция.

---

## The method of calculation of mobile dampers characteristics for use in lamellar structures of refrigerating machines

Ph. D. **Rykov S.A.** n\_1\_all@mail.ru

St. Petersburg state Sea technical university  
190008, St. Petersburg, Lotsmanskaya St., 3

Ph. D. **Kudryavtseva I.V.** togg1@yandex.ru  
ITMO University

197101, St. Petersburg, Kronverksky Avenue, 49

Ph. D. **Rykov S.V.** togg1@yandex.ru  
ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*For stripe, targeted damping of resonance oscillations ceilings, foundations and other similar structures are currently actively used different vibration damping coating. To them can be attributed to the difficulty of applying them on requiring isolation structures, a significant mass of these coatings and their lack of effectiveness in the low and mid frequency range. In the 80s and 90s developed the use for these*

*purposes mobile dampers – local wedge absorbers (LWA). Experimental and theoretical studies have shown the possibility of applying LWA for broadband damping of foundations and other engineering structures. In the article the algorithm of calculation of parameters of the LWA for their use on the plates. Also provides tips for choosing design petal LWA. The method of calculating the number and main characteristics of single and multileaf paintwork, mounted on plate structures.*

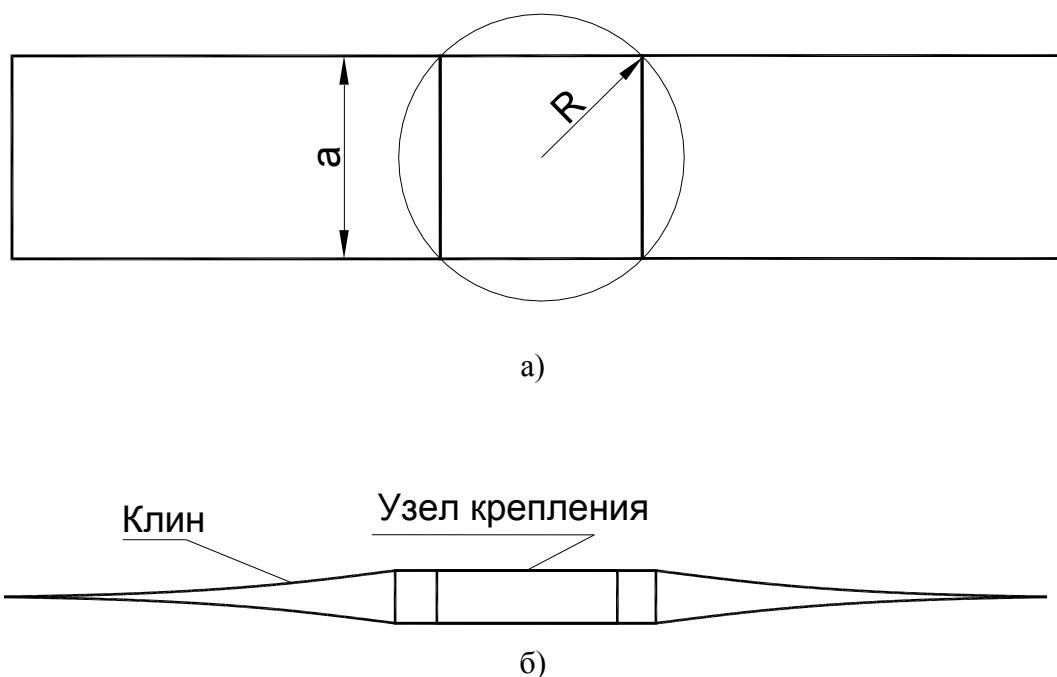
**Key words:** vibration, mobile damper, local wedge absorber, refrigeration equipment, food processing equipment, vibration isolation.

### 1. Расчет основных конструктивных параметров ЛКП

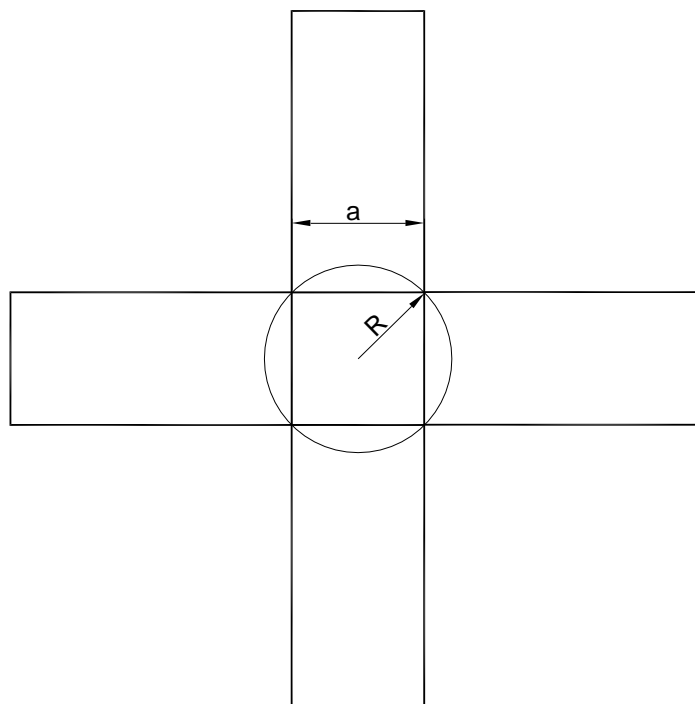
В [1–3] приведены расчетные зависимости и сведения по расчету основных теоретических характеристик мобильных демпферов в виде локальных клиновых поглотителей.

В данной статье рассмотрены методы расчета конструктивных параметров ЛКП для применения на пластинах.

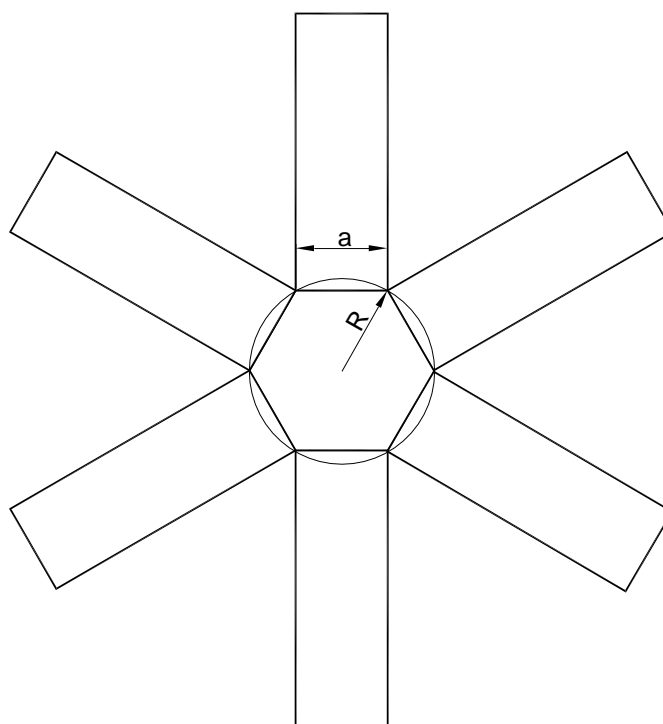
Конструктивно ЛКП для пластин могут быть выполнены в виде одно-, двух- и многоэлементных конструкций, общий вид которых приведен на рис. 1–3.



**Рис. 1. Одноэлементный ЛКП для пластинчатых конструкций  
а) вид сверху, б) вид сбоку**



**Рис. 2. Двухэлементный ЛКП для пластинчатых конструкций**



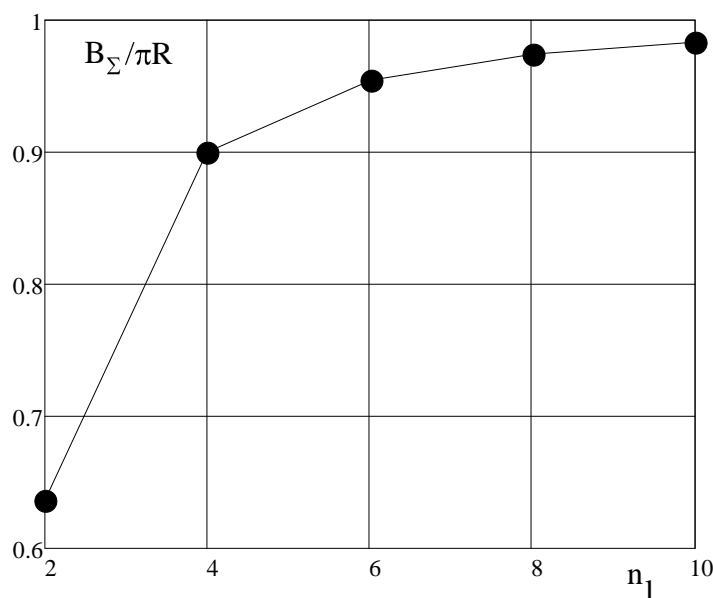
**Рис. 3. Многоэлементный ЛКП для пластинчатых конструкций**

Конструктивно ЛКП состоит из узла крепления и клинового элемента. В данной статье рассмотрен вопрос о выборе геометрии корневой части клинового элемента прилегающего к узлу крепления. Расчет рациональной геометрии самого клина будет рассмотрена позже. Геометрию узла крепления представим в виде цилиндра радиуса  $R$  и толщины  $H$ . Толщина узла крепления соответствует толщине корневой части клина. Общая ширина ЛКП (т. е. половина ширины всех клиньев в коневой части) в многоэлементном ЛКП может быть определена [4], как

$$B_{\Sigma} = n_l R \sin\left(\frac{\pi}{n_l}\right), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус узла крепления,  $n_l$  – общее количество клиновых элементов ( $n_l$  – всегда четное число).

На рис. 4 приведена зависимость общей ширины ЛКП деленная на длину половины окружности от количества лепестков ЛКП. Из рис. 4 видно, что с практической точки зрения нерационально изготавливать ЛКП с количеством лепестков больше 8–10, т. к. общая ширина ЛКП практически не увеличивается.



**Рис. 4. Зависимость нормированной общей ширины многолепесткового ЛКП от количества клиньев**

Проведем расчеты геометрии корневой части ЛКП типа 1 и типа 2, рассмотренных выше для двадцати лепестковых ЛКП. Радиус узла крепления ЛКП примем равной  $R = 25$  мм.

Толщина корневой части многолепестковых ЛКП, в зависимости от количества лепестков ( $n_l$ ) и радиуса узла крепления ( $R$ ) определяется как

$$H_{ML} = \frac{0.716 \cdot \gamma\%^{2/3} \cdot h_{pl}^{4/3} \rho_{pl}^{2/3} \left( \frac{E_{pl}}{\rho_{pl} (1 - \sigma_{pl}^2)} \right)^{1/3}}{E_b^{1/6} \left( n_l R \sin\left(\frac{\pi}{n_l}\right) \right)^{2/3} \rho_b^{1/2} f_{\min}^{1/3}}. \quad (2)$$

Расчеты геометрических параметров корневой части клиновых элементов многолепестковых ЛКП для ЛКП тип 1 проводились для  $\gamma\% = 0,1$  и частоты  $f_{1\min} = 10$  Гц, для ЛКП тип 2 расчеты проводились для  $\gamma\% = 0,1$  и частоты  $f_{2\min} = f_{1\max} = 68,5$  Гц.

Результаты расчетов приведены в таблице 1

Таблица 1

**Геометрические параметры коневого сечения лепестковых ЛКП для демпфирования колебаний пластины ЛКП типа 1 и типа 2**

Многолепестковый ЛКП	Кол-во клиньев в ЛКП $n_l$	Суммарная ширина клиньев в ЛКП $B_{\Sigma}$ (м)	Толщина клина $H$ тип 1 (мм)	Толщина клина $H$ тип 2 (мм)
Вариант 1	2	0,05	20	11
Вариант 2	4	0,071	16	8,4
Вариант 3	6	0,075	15	8,1
Вариант 4	8	0,077	15	7,9
Вариант 5	10	0,077	15	7,9

Анализ результатов расчета показывает, что наиболее рациональной для практики является 4–6 лепестковые ЛКП.

**2. Методика предварительного расчета количества и основных характеристик многолепестковых ЛКП, установленных на пластинчатых конструкциях**

- задать минимальную частота  $f_{\min}$  и диапазон частот  $f_{\min} - f_{\max}$ , в котором необходимо снизить вибрацию пластинчатой конструкции. Для определения  $f_{\min}$  необходимо рассчитать первую собственную частоту пластинчатой конструкции и сопоставить ее со спектром возмущения;

- задать величину снижения вибрации на пластине  $\Delta\xi$  в Дб;

- определить необходимую величину среднего коэффициента потерь  $\eta_{cp}$  пластины по выражению

$$\eta_{cp} = \eta_{pl} \cdot 10^{\frac{\Delta\xi}{20}}, \text{ где } \eta_{pl} - \text{коэффициент потерь пластины без ЛКП;}$$

- рассчитать модуль импеданса пластинчатой конструкции по формуле [2]:

$$|Z_{\infty pl}| = \frac{4}{\sqrt{3}} m_{pl} h_{pl} C_{pr-pl}; \tag{3}$$

- рассчитывается модуль импеданса одного ЛКП по формуле [3]:

$$|Z_{LKP}| = \gamma\% |Z_{\infty pl}| \tag{4}$$

на частоте  $f_{\min}$  при значении  $\gamma\%$ , выбранного из диапазона 0,05 – 0,2. Чем меньше коэффициент  $\gamma\%$ , чем больше общее количество ЛКП будет использовано, но меньше их общий вес;

- задать минимально допустимый коэффициент потерь  $\eta_{\min}$  в пластине при котором ЛКП еще эффективен;

- рассчитать количества ЛКП необходимых для достижения величины коэффициента потерь пластины равного  $\eta_{cp}$  по формуле [1]:

$$\eta_{cp} = \frac{\int_{f_{min}}^{f_{max}} \frac{n \cdot Z_{0LKP}}{\sqrt{2} \cdot 2\pi f^{0.5} M_{pl} \left( 1 + \frac{Z_{0LKP} \cdot 2\pi f^{0.5}}{Z_{\infty pl}} \right)^2} df}{f_{max} - f_{min}} . \quad (5)$$

Расчет произвести последовательно наращивая количество используемых ЛКП, до тех пор пока не будет достигнута требуемая величина  $\eta_{cp}$ . Для упрощения расчета надо помнить, что  $\eta_{cp} \approx 0,5\eta_{max}$  для каждого варианта, поэтому для первой прикидки можно посчитать  $\eta_{max}$  по формуле [2]:

$$\eta_{lkp} = \frac{n \cdot 2 \cdot E_b I_b m_b^3 \cdot 0.25}{\omega^{0.5} m_{pl} S_{pl} \gamma Z^2} ; \quad (6)$$

- рассчитать диапазон частот эффективного использования ЛКП  $f_{max} - f_{min}$ ,  $f_{max}$  рассчитывается по формуле [1]:

$$f_{max} = \frac{\sqrt[3]{4} \cdot \sqrt[3]{4B} \sqrt[3]{D} - 2^4}{288\pi B^4 \sqrt[3]{D^2}} ; \quad (7)$$

- расширить диапазон эффективного использования ЛКП (при необходимости):

а) увеличить количество используемых ЛКП, если общая масса ЛКП не играет существенной роли и контролировать величину  $f_{max}$  по (7).

б) если общая масса ЛКП должна быть минимальной, то используют второй тип ЛКП, рассчитанный на частоте  $f_{2min} = f_{1max}$  и значении  $\gamma\%$ , выбранном из диапазона 0,05 – 0,2. Расчет среднего коэффициента потерь пластины с ЛКП тип 1 и тип 2 производить по (1), а величину максимальной частоты эффективной работы ЛКП  $f_{12max}$  по формуле:

$$f_{12max} = \frac{\Omega^2}{2\pi} ; \quad (8)$$

- выбрать конструкцию лепесткового ЛКП и рассчитать его параметры, используя (1, 2).

Расчеты проводились с использованием современных специализированных пакетов [5–7]. Предложенный в статье способ расчета характеристик мобильных демпферов является один из способов совершенствования характеристик оборудования, применяемого в холодильной и пищевой промышленности [8–15].

### Выводы

1. Разработаны конструкции лепестковых ЛКП и метод их расчета.
2. Приведена методика предварительного расчета количества и основных характеристик многолепестковых ЛКП, установленных на пластинчатых конструкциях.

### Список литературы

1. Рыков С.А., Рыков С.В. Критерии оценки эффективности мобильных демпферов, установленных на пластинчатых поверхностях холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 8–16.
2. Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Мобильные широкополосные демпферы для демпфирования колебаний пластинчатых конструкций // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 90–97.
3. Рыков С.А., Рыков С.В. Выбор рациональной конструкции мобильного демпфера для пластинчатых конструкций холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. С. 51–58.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. ОГИЗ: Гостехиздат, 1948. – 556с.
6. Рыков В.А., Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Практические занятия в пакете MathCAD по исследованию систем линейных алгебраических уравнений: пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 107 с.
7. Практикум по работе в математическом пакете MathCAD: Учеб. пособие / С.В. Рыков, И.В. Кудрявцева, С.А. Рыков, В.А. Рыков. – СПб.: Университет ИТМО, ИХиБТ, 2015. – 87 с.
8. Методы оптимизации в примерах в пакете MathCAD 15. Ч. I: Учебн. пособие / И.В. Кудрявцева, С.А. Рыков, С.В. Рыков, Е.Д. Скобов – СПб.: НИУ ИТМО, ИХиБТ, 2014. – 164 с.
9. Докукин В.Н., Пронин В.А. Влияние компримируемой среды на силовые факторы, действующие в винтовом маслозаполненном компрессоре // Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 58-61.
10. Пронин В.А., Шляховецкий Д.В. Герметичный компрессор на диоксиде углерода для установки экстракции растительного сырья // Вестник Международной академии холода. 2007. № 2. С. 35–37.
11. Носков А.Н., Зимков А.А. Расчет процесса всасывания маслозаполненного холодильного винтового компрессора // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2012. № 1. С. 2.
12. Докукин В.Н., Емельянов А.Л., Носков А.Н. Результаты испытаний маслозаполненного винтового компрессора малой производительности в высокотемпературных режимах // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 6–8.
13. Рыков С.В., Рыков В.А. Обобщенная модель масштабного уравнения, основанная на феноменологической теории критических явлений // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-9. С. 1916-1920.
14. Рыков С.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Новое уравнение линии фазового равновесия R32 // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 27–29.
15. Рыков С.В. Правило криволинейного диаметра и масштабное уравнение в переменных давление-температура // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 65–68.
16. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Уравнения линии насыщения и упругости хладона R218 // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 54–57.