

УДК 534.282

Выбор рациональной конструкции мобильного демпфера для пластинчатых конструкций холодильных машин

Канд. техн. наук **Рыков С.А.** n_1_all@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ)

190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3

д-р техн. наук, проф. **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Традиционно для широкополосного демпфирования используются разнообразные вибродемпфирующие покрытия. К недостаткам использования специальных покрытий можно отнести большую трудоемкость их нанесения на изолируемые конструкции, их значительную массу и не достаточную эффективность в низкочастотном диапазоне частот. В настоящее время ведутся активные исследования по использованию локальных клиновых поглотителей (ЛКП) для целенаправленного широкополосного демпфирования колебаний конструкций различного назначения, в том числе оборудования холодильной и пищевой промышленности, корабельных конструкций, транспорта. Показано, что ЛКП имеют ряд достоинств по сравнению с использованием вибродемпфирующих покрытий. Исследования, проводимые в конце прошлого века, показали возможность применения ЛКП для виброизоляции конструкций. В статье оцениваются варианты исполнения ЛКП для случая установки на демпфируемую поверхность одиночного ЛКП и нескольких ЛКП. Анализируются максимальная частота эффективной работы, величина максимального и среднего коэффициентов потерь, ширина диапазона частот эффективной работы ЛКП. На основе проведенных исследований сделаны выводы о рациональной конструкции ЛКП, оптимальном количестве ЛКП для достижения максимального эффекта виброизоляции конструкций.

Ключевые слова: колебания, демпфер, локальный клиновой поглотитель, корабельное оборудование, холодильное оборудование.

The choice of the rational design of local wedge absorbers for refrigerating machine design

Ph.D. **Rykov S.A.** n_1_all@mail.ru

The St. Petersburg state sea technical university

(St. Petersburg State Marine Technical University)

190121, St. Petersburg, Lotsmanskaya St., 3

D.Sc. prof. **Rykov S.V.** togg1@yandex.ru

ITMO University

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

Traditionally for broadband damping are varied vibrationfree coverage. The disadvantages of the use of special coatings can be attributed to the greater complexity of their application to the insulated design of their considerable weight and not enough efficiency in the low frequency range. Currently, active research on the use of local wedge absorbers (LWA) for targeted broadband damping structures for various purposes, including equipment, refrigeration and food industry, ship structures, transport. It is shown that LWA have a number of advantages compared with the use of vibrocentric coatings. Research conducted at the end of the last century, showed the possibility of applying LWA for vibration control of structures. The paper estimates the options LWA for the case of installation on tempereau the surface of the single LWA and multiple LWA. Analyzed the maximum frequency efficient operation, maximum and average loss factors, the

width of the frequency range effective work of the LWA. On the basis of the conducted researches conclusions about rational design of LWA, the optimal number of LWA for maximum effect vibration control of structures.

Key words: vibration damper, a local wedge absorber, vehicular equipment, refrigeration equipment.

В [1] получены расчетные выражения для оценки эффективности использования мобильных демпферов в виде локальных клиновых поглотителей (ЛКП) [2–4] на пластинчатых конструкциях холодильного оборудования и выработаны критерии оценки эффективности для ЛКП различного конструктивного исполнения. В [1] показано, что наибольший эффект может быть получен при использовании ЛКП с отношением импедансов:

$$\frac{|Z_{LKP}|}{|Z_{\infty pl}|} < 1, \tag{1}$$

где $Z_{\infty pl}$ – входной импеданс бесконечной пластины по отношению к точечной силе, Z_{LKP} – входной импеданс стержневого ЛКП.

При одинаковой толщине различных вариантов ЛКП, его ширина, может быть определена как:

$$b_b = \frac{1.52\gamma\% h_{pl}^2 \sqrt{E_{pl}\rho_{pl}}}{E_b h_b^6 \rho_b^3 \sqrt{1 - \sigma_{pl}^2} \sqrt{2\pi f_{\min}}}, \tag{2}$$

где ρ_{pl} – плотность массы материала пластины, h_{pl} – толщина пластины, E_{pl} – модуль упругости материала пластины, σ_{pl} – коэффициент Пуассона материала пластины, ρ_b – плотность массы материала ЛКП, h_b – толщина корневой ЛКП части, E_b – модуль упругости материала ЛКП, f_{\min} – минимальная частота эффективной работы ЛКП, $\gamma\% = \frac{|Z_{LKP}|}{|Z_{\infty pl}|}$.

В табл. 1 приведены характеристики различных вариантов исполнения одиночного ЛКП, модуль импеданса, которого составляет заданный процент от модуля импеданса пластины. Расчеты проводились для $H_b=0,01\text{м}$, $n=1$.

На рис. 1 приведены амплитудно-частотные зависимости ожидаемого усредненного значения коэффициента потерь пластины при установке различных вариантов исполнения ЛКП (см. табл. 1) (η_{lkp}), модуль импедансов которых рассчитывался по выражению:

$$|Z_{LKP}| = \gamma\% |Z_{\infty pl}|, \tag{3}$$

где коэффициент $\gamma\%$ рассчитан на минимальной частоте f_{\min} , изменяющийся в диапазоне 0,1 - 1 с увеличением в 2 раза для каждого последующего варианта.

Таблица 1

Характеристики ЛКП при различных значениях $\gamma\%$

Тип ЛКП	$\gamma\% = \frac{ Z_{LKP} }{ Z_{opl} }$	$B_{\gamma\%}, \text{ м}$	$H_b, \text{ м}$	n	η_{\max}
Вариант 1	0,05	0,072	0,01	1	0,063
Вариант 2	0,1	0,143	0,01	1	0,14
Вариант 3	0,2	0,286	0,01	1	0,192
Вариант 4	0,4	0,572	0,01	1	0,282
Вариант 5	0,8	1,144	0,01	1	0,342
Вариант 6	1	1,43	0,01	1	0,346

Анализ результатов расчета (см. рис. 1) показывает, что при увеличении коэффициента $\gamma\%$ наклон кривых $\eta = \eta(f)$ с ростом частоты увеличивается, а ширина частотного диапазона эффективной работы ЛКП уменьшатся.

Для сравнения эффективности разных вариантов исполнения ЛКП (табл. 1), на пластине установим столько ЛКП, что бы максимальный коэффициент потерь пластины с ЛКП на минимальной частоте был одинаковым у всех вариантов ЛКП и равнялся $\eta\gamma\%_{\max} = \eta_{opt} = 0,346$. Исходя из этого, общее количество ЛКП для каждого типа ЛКП установленных на пластине будет разным и определяется как:

$$n = \frac{\eta_6}{\eta_i} = \frac{0.346}{\eta_i}.$$

Сравнение эффективности различных вариантов исполнения ЛКП проведем по трем параметрам [2]:

- средней коэффициент потерь η_{cp} в эффективном диапазоне использования ЛКП;
- диапазону частот $f_{\min} - f_{\max}$ эффективного использования ЛКП;
- относительной массе $\frac{\sum M_{var.i}}{M_{var.6}}$ (где $\sum M_{var.i}$ – суммарная масса всех ЛКП i-го варианта,

$M_{var.6}$ – масса шестого варианта с одним ЛКП с оптимальными параметрами) используемого ЛКП.

На рис. 2 приведены частотные характеристики коэффициентов потерь пластины с установленными ЛКП. Результаты расчета характеристик эффективности шести вариантов ЛКП приведены в табл. 2.

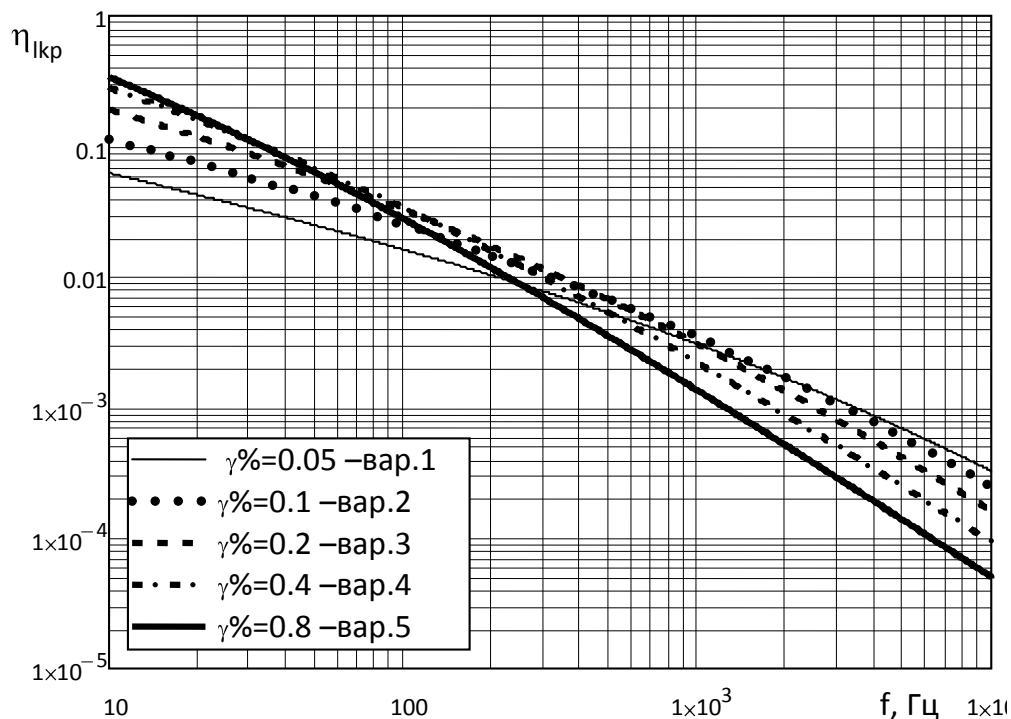


Рис. 1. Амплитудно-частотная зависимость η_{lkp} пластины одиночного ЛКП разного типа (при различных значениях $\gamma\%$)

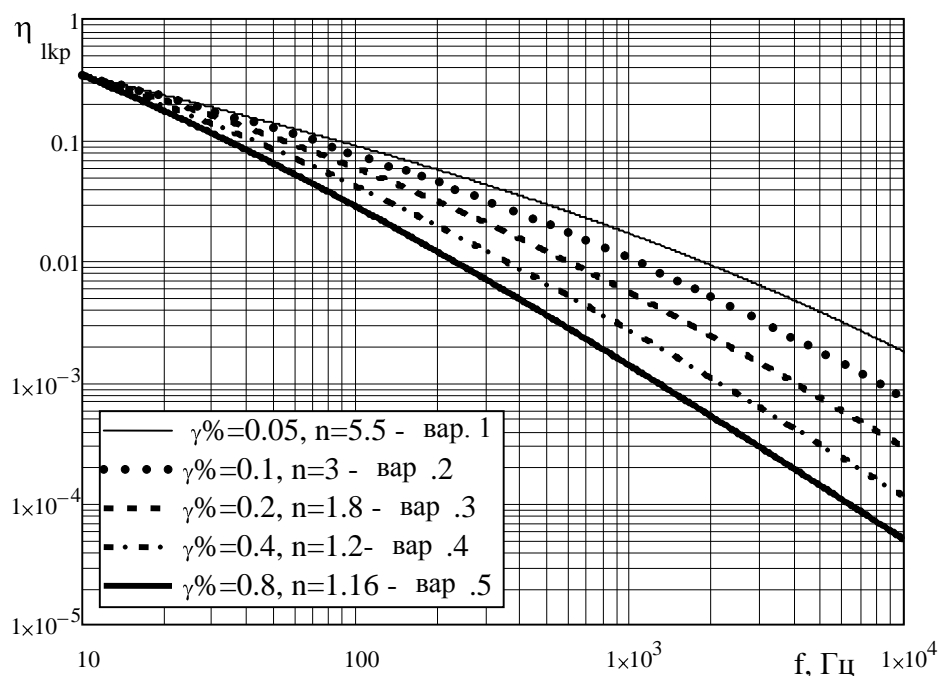


Рис. 2. Амплитудно-частотная зависимость η_{lkp} пластины с набором ЛКП разного типа, позволяющим получить максимальный коэффициент потерь пластины на минимальной частоте $\eta_i = \eta_6 = 0,346$

Таблица 2

**Эффективность использования наборов ЛКП
(с разными значениями $\gamma\%$ и одинаковым значении $\eta\gamma\%_{\max}=0,346$ на $f_{1\min}=10$ Гц),
установленных на пластине**

Тип ЛКП	$\gamma\% = \frac{ Z_{LKP} }{ Z_{\infty pl} }$	Кол. ЛКП n	$\frac{\sum M_{вар.i}}{M_{вар.6}}$	η_{cp}	$f_{\max} - f_{\min}$, Гц
Вариант 1	0,05	5,5	0,276	0,162	74
Вариант 2	0,1	3	0,302	0,166	58,5
Вариант 3	0,2	1,8	0,36	0,171	43,6
Вариант 4	0,4	1,2	0,49	0,175	41,7
Вариант 5	0,8	1,01	0,81	0,178	23,5
Вариант 6	1	1	1	0,178	21,6

На рис. 3 - 5 приведены зависимости:

- относительной ширины частотного диапазона эффективной работы разных вариантов исполнения ЛКП - $\frac{\Delta f \gamma\%}{\Delta f_6} = \frac{f \gamma\%_{\max} - f_{\min}}{f_{6\max} - f_{\min}}$, где $\Delta f \gamma\% = f \gamma\%_{\max} - f_{\min}$, $f \gamma\%_{\max}$ - максимальная частота эффективной работы для каждого варианта исполнения ЛКП (см. табл. 2), $\Delta f_{opt} = f_{6\max} - f_{\min}$, $f_{6\max}$ - максимальная частота эффективной работы ЛКП, с оптимальными параметрами (вариант 6, табл. 2);

- n - количество ЛКП в разных вариантах исполнения ЛКП (см. табл. 2);

- суммарная масса ЛКП (M_i), используемая в каждом варианте, нормированная на массу ЛКП (M_{opt}) с оптимальными параметрами $\Delta M \gamma\% = \frac{M_i}{M_6}$ от $\gamma\% = \frac{|Z_{LKP}|}{|Z_{\infty pl}|}$, рассчитанной на частоте $f_{1\min}=10$ Гц.

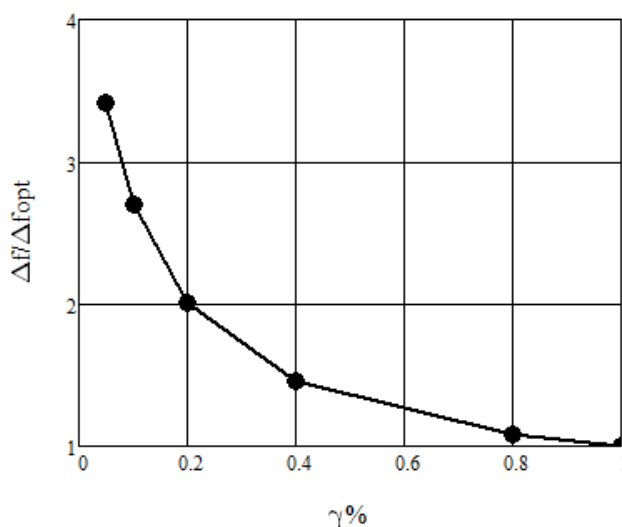


Рис. 3. Зависимость относительной ширины частотного диапазона эффективной работы ЛКП от $\gamma\%$

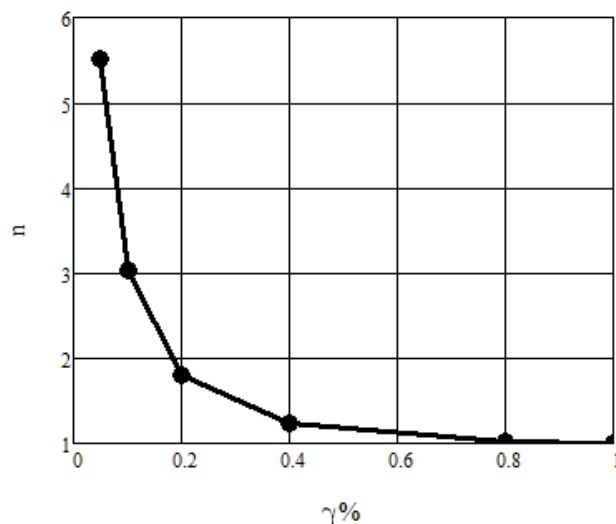


Рис. 4. Зависимость количества ЛКП, установленных на пластине от $\gamma\%$

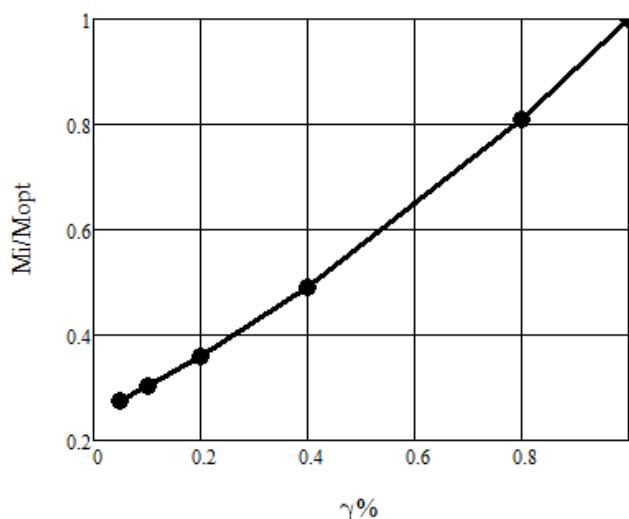


Рис. 5. Зависимость относительной суммарной массы ЛКП, установленных на пластине от $\gamma\%$

Анализ результатов расчета, приведенных в табл. 2 и кривых на рис. 3–5, показывает, что при увеличении $\gamma\%$ с 0,05 (вариант 1) до 1 (вариант 6):

- величина среднего коэффициента потерь пластины слабо растёт с ростом коэффициента $\gamma\%$. Диапазон изменений значений среднего коэффициента потерь пластины колеблется в пределах 10% в зависимости от варианта исполнения ЛКП;

- отношение максимального и среднего коэффициента потерь в зависимости от значения коэффициента $\gamma\%$ составляет $\frac{\eta_{cp}}{\eta\gamma\%_{max}} = 0,5 \pm 5\%$;

- ширина диапазона частот эффективной работы ЛКП уменьшается в 3,5 раза;
- количество установленных элементов ЛКП на пластине уменьшается с 5,5 до 1;
- суммарная масса ЛКП, установленных на пластине, увеличивается примерно в 3,6 раза.

Таким образом, что чем меньше $\gamma\%$, тем меньше общая масса установленных на пластине ЛКП и тем больше диапазон частот эффективной работы при одинаковом среднем значении коэффициента

потерь пластины с ЛКП. Единственным, но важным с практической стороны, является лавинообразное возрастание количества установленных на пластине ЛКП при $\gamma\% < 0,05$.

Практически допустимо использовать от 2 до 5 ЛКП, обеспечивающих такую же эффективность как один ЛКП с оптимальными параметрами. В этом случае при расчете одного ЛКП коэффициент выбирается из интервала $0,05 < \gamma\% < 0,2$.

Исследования проводились в специализированных программных пакетах [5–9], что позволило существенно сократить время на анализ данных, представленных в численном, символьном и графическом виде. Ведутся работы по использованию полученных результатов для широкополосного демпфирования колебаний оборудования холодильной и пищевой промышленности [10–17].

Выводы

1. Предложена рациональная конструкция ЛКП, позволяющая более чем в 3 раза уменьшить суммарный вес и увеличить ширину эффективной работы ЛКП, установленных на конструкции холодильного оборудования.

2. Импеданс $|Z_{LKP}| = \gamma\% |Z_{опл}|$ ЛКП для демпфирования колебаний пластинчатой конструкции должен рассчитываться при варьировании коэффициента $\gamma\%$ в интервале [0,05 – 0,2].

3. Общее количество используемых ЛКП определяется как $n = \frac{0,346}{\eta_1}$, η_1 – коэффициент потерь в пластине при использовании одного ЛКП.

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. Никифоров А.С., Будрин С.В. Распространение и поглощение звуковой вибрации на судах. - Л.: Судостроение, 1968. – 215 с.
3. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций: Справочник. – Л.: Судостроение, 1990. – 200 с.
4. А.с. № 258826 СССР, МКИ4 кл. В63Н 21/30, Е02D 27/52. Узел виброизоляции / А.В. Авринский, С.А. Рыков, И.К. Пименов, М.В. Бернблит. 1987 г., – 9 с.
5. Математика. Теория и примеры в MathCAD: Пособие / И.В. Кудрявцева, В.А. Рыков, А.С. Старков, С.А. Рыков, С.В. Рыков – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – 92 с.
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. Кудрявцева И.В., Рыков В.А., Рыков С.А., Рыков С.В. Использование MathCAD в теории матриц: Метод. указания. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – 50 с.
8. Буткарев А. Г., Рыков В. А., Рыков С.А. Эффективное использование редактора MS WORD для оформления документов большого объема // Пособие для самостоятельной работы / Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. ун-т низкотемпературных и пищевых технологий. Санкт-Петербург, 2007.
9. Методы оптимизации в примерах в пакете MathCAD 15. Ч. I: Учеб. пособие / И.В. Кудрявцева, С.А. Рыков, С.В. Рыков, Е.Д. Скобов. – СПб.: НИУ ИТМО, ИХиБТ, 2014. – 166 с.

10. *Бараненко А.В., Кириллов В.В.* Разработка хладоносителей на основе электролитных водно-пропиленгликолевых растворов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2007. № 3. С. 38–41.
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.
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. *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.
14. *Рыков С.В., Камоцкий В.И., Рыков В.А.* Расчет паровой ветви линии насыщения перфторпропана в пакете MathCad // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014 № 2 С. 23.
15. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В.* Выбор параметров масштабного уравнения в физических переменных // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 34–37.
16. *Рыков С.В., Кудрявцева И.В.* Непараметрическое масштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (8). С. 1687-1692.
17. *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.