

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТОК СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТИПОВ ПЛОСКОЛИСТОВЫХ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

© 2010 А.В. Краснов, М.И. Фесина, Л.Н. Горина, М.В. Кравцова, А.А. Ковалева,
А.Г. Назаров

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 27.03.2010

Описаны разработанные методы структурной модификации плосколистных вибродемпфирующих материалов, обеспечивающих им повышенную акустическую эффективность, уменьшение весогабаритных и стоимостных параметров. Представлены результаты заключительных сопоставительных виброакустических исследований различных типов и марок промышленно-производимых неструктурированных и опытных образцов структурированных вибродемпфирующих материалов. С использованием лабораторно-стендовых установок «RTC-3» и «Оберст» установлены эффективные диапазоны параметров структурирования плосколистных вибродемпфирующих материалов.

Ключевые слова: плосколистные вибродемпфирующие материалы, структурирование

Существенными недостатками плосколистных вибродемпфирующих материалов (ВДМ), используемых в конструкциях различных технических систем для снижения структурного шумового излучения тонкостенных виброактивных панелей, являются их недостаточно высокие вибродемпфирующие свойства. Достижимые невысокие значения коэффициента потерь характеризуются ограниченным диапазоном эксплуатационных температур при относительно высоком удельном весе этих материалов. Весьма актуальным для разработок различных виброшумоактивных технических объектов является применение вибродемпфирующих покрытий, обладающих улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами, с обеспечением их надежного адгезионного сопряжения с встречными поверхностями демпфируемых панелей без образования технологических дефектов. Проведенные расчетно-экспериментальные исследования указывают на эффективное решение комплексной задачи увеличения эффективности вибродемпфирующих покрытий путем сквозного или послойного перфорирования их структур с соблюдением заданных параметров

перфорирования и физико-механических свойств материалов, оказывающем непосредственное влияние на весовые, жесткостные и демпфирующие характеристики такого типа структур [1, 2]. Отдельные типы модифицированных структур ВДМ защищены патентами РФ на изобретения [3, 4].

Механизм воздействия на физико-механические (весовые, жесткостные, демпфирующие) свойства плосколистных материалов может быть рассмотрен на примере анализа зависимости механических потерь, реализуемых в структуре изгибно-колеблющейся двухслойной композитной структуры «демпфируемая тонколистовая панель – плосколистное жесткое вибродемпфирующее покрытие», от их физических параметров. Композитный коэффициент потерь η_k такой композитной структуры (промышленно-производимого неперфорированного вибродемпфирующего покрытия) определяется согласно выражения [5]:

$$\eta_k = \frac{\beta_2 h_{2x} E_{2x} (h_{2x}^2 + 12h_{2y}^2)}{1 + h_{2x} E_{2x} (h_{2x}^2 + 12h_{2y}^2)} \quad (1)$$

где β_2 – коэффициент внутренних потерь вязкоэластичного вибродемпфирующего слоя; $h_{2x} = h_{2(\text{вд})} / h_{\text{пан}}$ – отношение толщины вязкоэластичного слоя (м) к толщине несущей тонколистовой панели (м); $E_{2x} = E_{2(\text{вд})} / E_{\text{пан}}$ – отношение модуля Юнга материала вязкоэластичного слоя (Н/м^2) к модулю Юнга материала тонколистовой панели (Н/м^2); $h_{2y} = h_{2(\text{пан})} / h_{\text{пан}}$; $h_{2(\text{пан})}$ – расстояние между нейтральными плоскостями несущей тонколистовой панели и вязкоэластичного слоя, м.

Из анализа выражения (1) следует, что величина коэффициента внутренних потерь β_2 вязкоэластичного слоя такого типа (жесткого) ВДМ

Краснов Александр Валентинович, доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью». E-mail: kaw@yandex.ru

Фесина Михаил Ильич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью». E-mail: michailfes@yandex.ru

Горина Лариса Николаевна, доктор педагогических наук, профессор, заведующая кафедрой «Управление промышленной и экологической безопасностью». E-mail: gorina@tltsu.ru

Кравцова Марианна Викторовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью». E-mail: m.v.kravtsova@yandex.ru

Ковалева Анна Александровна, аспирантка

Назаров Алексей Геннадьевич, студент

является асимптотическим значением для ком-
позитного коэффициента потерь η_k образуемой
композитной структуры при увеличении толщи-
ны $h_{2(\text{вд})}$ вязкоэластичного слоя.

Следующая рассматриваемая композит-
ная структура «несущая демпфируемая тонко-
листовая панель – двухслойное армированное
вибродемпфирующее покрытие» (в составе вяз-
коэластичного и фольгированного слоев). Ком-
позитный коэффициент потерь η_k такой трех-
слойной композитной структуры определяется
согласно следующего выражения [6]:

$$\eta_k = \frac{\beta_2 Y_E Y_G}{1 + (2 + Y_E) Y_G + (1 + Y_E)(1 + \beta_2^2) Y_G^2} \quad (2)$$

где Y_E – жесткостной параметр; Y_G – сдвиговой
параметр.

Жесткостной параметр Y_E зависит от ве-
личин динамических жесткостей вязкоэластич-
ного и армирующего слоя, а также от расстоя-
ния между нейтральными плоскостями этих со-
прягаемых слоев. Этот параметр определяется
зависимостью:

$$\frac{1}{Y_E} = \frac{E_{\text{пан}} h_{\text{пан}}^3 + E_{3(\text{вд})} h_{3(\text{вд})}^3}{12 h_{3(\text{пан})}^2} \times \left(\frac{1}{E_{\text{пан}} h_{\text{пан}}} + \frac{1}{E_{3(\text{вд})} h_{3(\text{вд})}} \right) \quad (3)$$

где $h_{3(\text{вд})}$ – толщина армирующего слоя, м; $E_{3(\text{вд})}$ –
модуль Юнга материала армирующего слоя,
Н/м²; $h_{3(\text{пан})}$ – расстояние между нейтральными
плоскостями несущей демпфируемой пластины
и фольгированного армирующего слоя, м.

Сдвиговой параметр Y_G зависит от модуля
сдвига материала $G_{2(\text{вд})}$ и толщины вязкоэ-
ластичного слоя $h_{2(\text{вд})}$, волнового числа k_B
($k_B = 2\pi/\lambda_e$, где λ_e – длина изгибной волны в обра-
зованной трехслойной структуре, м), а также от
жесткостей несущей демпфируемой тонколи-
стовой панели и армирующего слоя. Этот пара-
метр определяется как:

$$Y_G = \frac{G_{2(\text{вд})}}{k_B^2 h_{2(\text{вд})}} \left(\frac{1}{E_{\text{пан}} h_{\text{пан}}} + \frac{1}{E_{3(\text{вд})} h_{3(\text{вд})}} \right) \quad (4)$$

где $G_{2(\text{вд})} = \frac{E_{2(\text{вд})}}{2(1 + \nu_{2(\text{вд})})}$ – модуль сдвига вязко-
эластичного слоя армированного ВДМ, Н/м²;
 $\nu_{2(\text{вд})}$ – коэффициент Пуассона вязкоэластичного
слоя армированного ВДМ.

Для оценки эффективности использования
различных схем модифицированных перфори-
рованных структур ВДМ проводились соот-
ветствующие расчетно-экспериментальные
исследования промышленно производимых

(неструктурированных типов) плосколистных
ВДМ: 3 типов жестких вязкоэластичных одно-
слойных и 6 типов армированных двухслойных.
Исследуемые типы ВДМ отличались толщинами
слоев, плотностью, химическим и структурным
составом вязкоэластичного слоя, типом клеевого
(термоактивного) вещества адгезионных слоев
(см. табл. 1). Оценка влияния процесса перфо-
рирования структур плосколистных вибро-
демпфирующих материалов на изменение их
вибродемпфирующих свойств производилась в
составе образованных композитных структур
(см. рис. 1), представляющих собой несущую
тонколистовую стальную панель толщиной 1 мм
со смонтированным на ее поверхности образцом
вибродемпфирующего материала.

Количественная оценка степени перфори-
рования структур ВДМ характеризовалась пара-
метром «коэффициент перфорации» $k_{\text{пер(вд)}}$:

$$k_{\text{пер(вд)}} = \frac{S_{\text{пер(вд)}}}{S_{\text{покp(вд)}}} \quad (5)$$

где $S_{\text{пер(вд)}}$ – суммарная площадь проекции
выполненных отверстий перфорации на плос-
кость поверхности опытного образца материала
вибродемпфирующего покрытия, м²; $S_{\text{покp(вд)}}$ –
площадь лицевой поверхности промышленно-
производимого (исходного) образца материала
неперфорированного вибродемпфирующего по-
крытия, м².

На первом этапе экспериментальные ис-
следования проводились с использованием ла-
бораторно-стендовой установки «RTC-3» [7].
Проведенные исследования позволили опреде-
лить, что сквозное перфорирование слоев как
однослойных вязкоэластичных материалов, так
и двухслойных армированных ВДМ изменяет их
массовые и жесткостные характеристики, о чем
свидетельствует увеличение численных значе-
ний частот собственных колебаний исследуемых
композитных структур на 8-30 Гц (6-15%). Од-
новременно с этим отмечено снижение ампли-
туд передаточной функции «сила-вибрация» H_V
на частотах собственных колебаний на 1,2-5,5
дБ (см. рис. 2 и рис. 3).

Наибольший эффект снижения амплитуд
передаточной функции H_V композитной струк-
туры с жестким вибродемпфирующим покрытием
отмечен при $k_{\text{пер(вд)}}=0,11$, диаметре отверстий
перфорации $d_{4(\text{вд})}=(1-4) \cdot h_{2(\text{вд})}$ и межцентровом
шаге отверстий $b_{4(\text{вд})}=(4-10) \cdot d_{4(\text{вд})}$. В это же время
достаточно эффективным может быть признан
диапазон $k_{\text{пер(вд)}}=0,02-0,11$, что обусловлено сле-
дующими факторами. При перфорировании
структуры вязкоэластичного слоя сквозными
отверстиями с $k_{\text{пер(вд)}} < 0,02$ не обеспечивается
существенного (более 1 дБ) снижения амплитуд
передаточной функции H_V композитной структуры

с достигаемым незначительным снижением веса. В тоже время перфорирование структуры вязкоэластичного слоя сквозными отверстиями с $k_{пер(вд)} > 0,11$ приводит уже к падению эффектов

снижения вибровозбудимости композитной структуры относительно варианта этой структуры с неперфорированным вибродемпфирующим покрытием.

Таблица 1 Основные технические параметры жестких и армированных ВДМ, подвергаемых структурной модификации

Условное обозначение материала	$\rho_{2(вд)}$, кг/м ³	$h_{2(вд)}$, мм	$h_{3(вд)}$, мм	$K_{3(вд)}$, $\times 10^7$ Н/м	M_{2n} , $\times 10^7$ Н/м ² , при температуре t (°C)				$\eta_{кп}$ при температуре t (°C)			
					+20	+40	+60	+80	+20	+40	+60	+80
A1500	2000	1,5	-	-	11,4	3,9	-	-	0,10	0,05	-	-
A2500	2000	2,5	-	-	37,0	4,9	-	-	0,15	0,10	-	-
A3500	2000	3,5	-	-	39,7	14,8	-	-	0,21	0,12	-	-
B90	1429	2,0	0,09	6,12	27,0	9,0	5,1	3,0	0,15	0,16	0,13	0,09
C100	1143	2,0	0,10	6,80	9,5	3,0	0,0025	0,0015	0,24	0,22	0,08	0,04
D120	1371	3,4	0,12	8,16	6,0	3,0	0,000034	0,00001	0,13	0,21	0,19	0,14
E200	1700	4,8	0,20	13,60	62,0	25,0	8,0	4,0	0,42	0,24	0,28	0,20
F200	1429	3,3	0,20	13,60	28,4	10,0	4,4	2,0	0,26	0,12	0,06	0,04
G220	1833	2,8	0,22	14,96	23,0	7,6	4,4	2,0	0,27	0,19	0,13	0,09

Примечание: $\rho_{2(вд)}$ и $h_{2(вд)}$ – соответственно, плотность (кг/м³) и толщина (мм) вязкоэластичного слоя; $h_{3(вд)}$ – толщина армирующего слоя, мм; $K_{3(вд)}$ – показатель жесткости армирующего слоя, Н/м; M_{2n} – приведенный модуль потерь вязкоэластичного слоя, Н/м²; $\eta_{кп}$ – приведенный композитный коэффициент потерь. Промышленно-производимые марки однослойных ВДМ заменены на условные буквенные обозначения А, содержащие индекс, указывающий толщину вязкоэластичного слоя в мкм, а промышленно-производимые марки двухслойных армированных ВДМ заменены на условные буквенные обозначения В...Г, содержащие индекс, указывающий толщину армирующего слоя в мкм

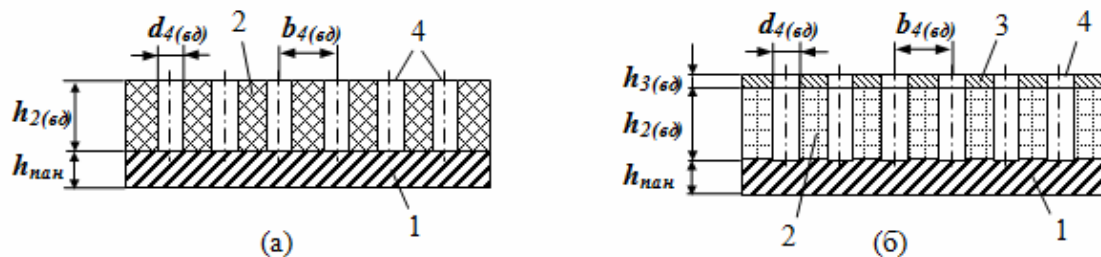


Рис. 1. Схемы модифицируемых композитных плосколистовых структур с перфорированным однослойным вязкоэластичным (а) и двухслойным армированным (б) вибродемпфирующими покрытиями:

- 1 – несущая демпфируемая тонколистовая панель; 2 – вязкоэластичный демпфирующий слой;
- 3 – армирующий слой; 4 – отверстия перфорации; $h_{пан}$ – толщина демпфируемой тонколистовой панели;
- $h_{2(вд)}$ – толщина вязкоэластичного слоя; $h_{3(вд)}$ – толщина армирующего слоя; $d_{4(вд)}$ – диаметр отверстий перфорации; $b_{4(вд)}$ – межцентровой шаг отверстий перфорации

Помимо эффективного диапазона значений параметров структурирования используемый однослойный тип жесткого вязкоэластичного ВДМ должен характеризоваться эффективными значениями показателя «приведенный модуль потерь» вязкоэластичного слоя M_{2n} (до момента процесса его перфорирования):

$$M_{2n} = \beta_{2n} \cdot E_{2n(вд)} \geq 10^8, \text{ Н/м}^2 \quad (6)$$

где β_{2n} и $E_{2n(вд)}$ – приведенные (к базовой частоте 200 Гц) коэффициент внутренних потерь и модуль Юнга (Н/м²) вязко-эластичного слоя.

Ввиду того, что армированные ВДМ обладают более широким эффективным (рабочим эксплуатационным) температурным

диапазоном, то для определения рациональных физико-механических параметров составных слоев и параметров структурирования проводились экспериментальные исследования жестких и вибродемпфирующих свойств материалов в диапазоне температур +20-+80°C с использованием метода, базирующегося на применении лабораторно-стендовой установки «Оберст» [8, 9]. Из приведенных результатов экспериментальных исследований (рис. 4 и рис. 5) следует, что перфорирование вязкоэластичного слоя (армирующий слой неперфорирован) образца двухслойного армированного ВДМ F200 (на рисунках обозначен как F200-М), приводит к незначительному (не более чем на 0,02) изменению значений показателя $\eta_{кп}$ в диапазоне $k_{пер(ед)}=0,05-0,40$ и диапазоне рабочих температур +20-+80°C.

При варианте реализации процесса сквозного перфорирования вязкоэластичного и армирующего слоев образца материала F200 (как и образцов других исследованных материалов) отмечается более существенное изменение значений параметра $\eta_{кп}$. В частности, выделяются выраженные диапазоны изменения $k_{пер(ед)}$ как с повышенными и/или слабо изменяющимися, так и пониженными значениями $\eta_{кп}$ в диапазоне $k_{пер(ед)}=0,5-0,25$ и диапазоне рабочих температур +20-+80°C. В это же время в диапазоне $k_{пер(ед)}>0,25$ при аналогичном диапазоне рабочих температур наблюдается более существенное падение значений параметра $\eta_{кп}$ для большинства исследуемых марок материалов В-Г.

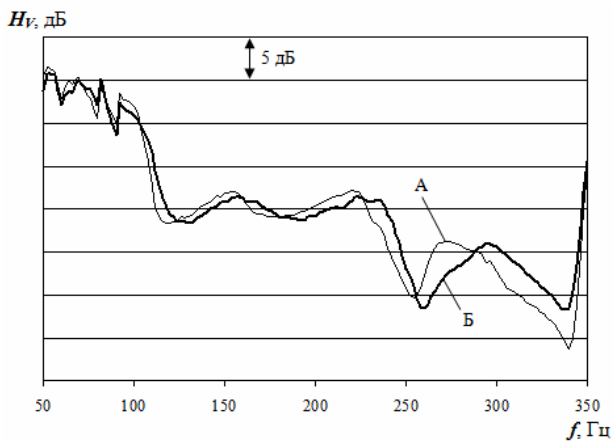


Рис. 2. Передаточная функция «сила-вибрация» H_V композитной структуры с покрытием из жесткого плосколистного однослойного вибродемпфирующего материала А3500: А, Б – соответственно, композитная структура с неперфорированным и перфорированным ($k_{пер(вд)}=0,11$) вязкоэластичным вибродемпфирующим слоем

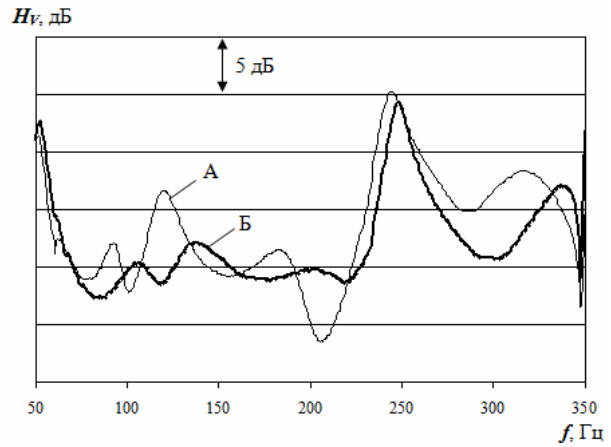
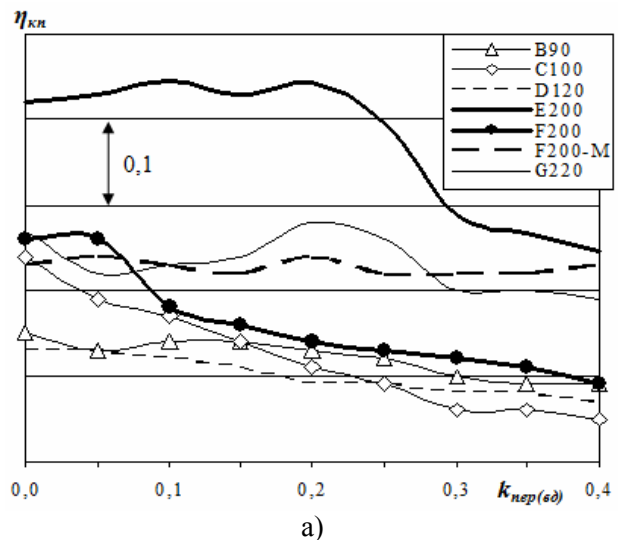


Рис. 3. Передаточная функция «сила-вибрация» H_V композитной структуры с ламинатным покрытием из двухслойного армированного ВДМ F200:

А, Б – соответственно, композитная структура с неперфорированным и перфорированным ($k_{пер(ед)}=0,11$) армированным вибродемпфирующим покрытием

Таким образом, следует сделать вывод о том, что перфорирование исключительно вязкоэластичного слоя в составе двухслойного плосколистного армированного ВДМ позволяет сохранить значения показателя $\eta_{кп}$ на уровне промышленно-производимого (исходного) образца неперфорированного варианта при существенном (до 40%) уменьшении массы вещества составного вязкоэластичного слоя. В случае сквозного перфорирования вязкоэластичного и армирующего составных слоев появляется возможность для каждого из типов материалов выделить диапазон значений $k_{пер(ед)}$, обеспечивающих либо увеличение вибродемпфирующей эффективности, либо ее сохранение на прежнем уровне с достижением уменьшения веса до 25%. При этом эффект увеличения вибродемпфирующей способности таким образом структурированных (перфорированных) армированных ВДМ обеспечивается в расширенном (на 20-40°C) рабочем диапазоне температур.



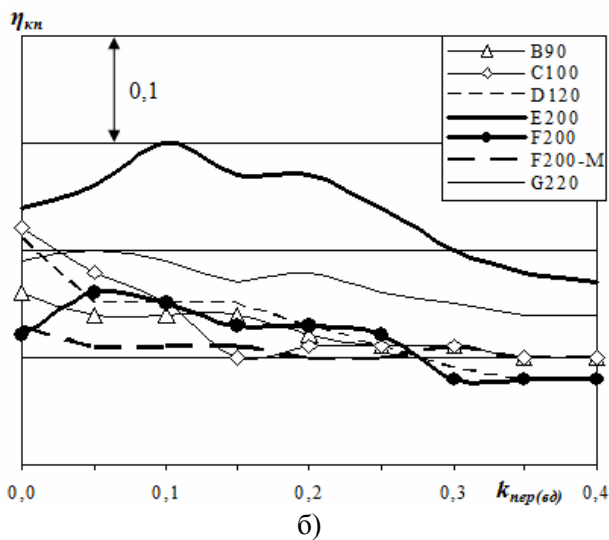


Рис. 4. Зависимость приведенного композитного коэффициента потерь $\eta_{кн}$ от коэффициента перфорации $k_{пер(ед)}$ двухслойных армированных ВДМ при температурных режимах +20°C (а) и +40°C (б)

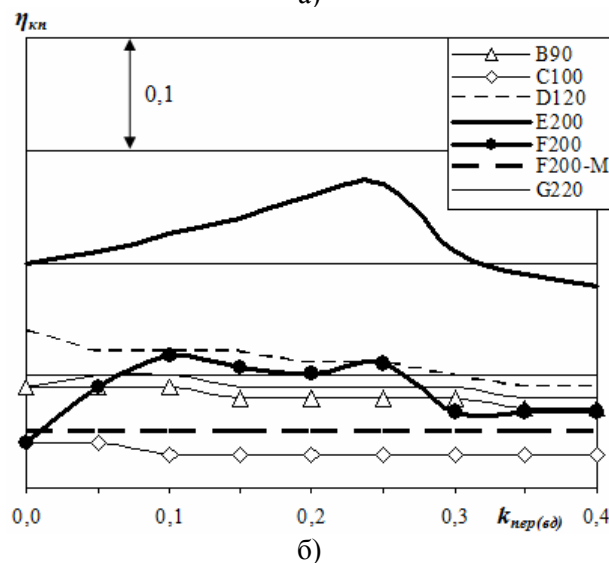
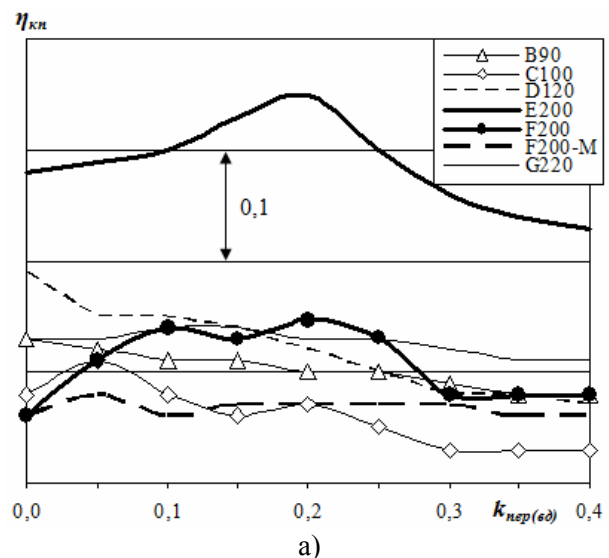


Рис. 5. Зависимость приведенного композитного коэффициента потерь $\eta_{кн}$ от коэффициента перфорации $k_{пер(ед)}$ двухслойных армированных ВДМ при температурных режимах +60°C (а) и +80°C (б)

Как иллюстрируют результаты исследований, приведенных в работе [2], процедура перфорирования плоскостовых ВДМ способствует существенному многократному усилению амплитуд сдвиговых деформаций, протекающих в возбуждаемом вязкоэластичном слое, ответственных за доминирующий механизм рассеивания механической (вибрационной) энергии изгибно-колеблющихся пластин задемпфированных жесткого типа вязкоэластичным ВДМ.

Для обеспечения приемлемых эффектов от реализации процессов структурной модификации армированные типы плоскостовых ВДМ должны обладать заданными значениями параметра «приведенный модуль потерь» M_{2n} вязкоэластичного слоя и параметра «модуль жесткости» $K_{3(ед)}$ армирующего слоя. В частности, до момента осуществления процесса перфорирования приведенный (к базовой опорной частоте изгибных колебаний 200 Гц) модуль потерь вязкоэластичного слоя M_{2n} промышленно-производимого (исходного) двухслойного армированного ВДМ в диапазоне температур +20-+80°C должен превышать значения выражения (7):

$$M_{2n} \geq (10^2 - 1,5 \cdot [(t) - 20]) \cdot 10^6, \text{ Н/м}^2 \quad (7)$$

где (t) – числовое значение температуры t в диапазоне +20-+80°C, выраженное в условных единицах, равных соответствующим значениям град (°C).

Одновременно с этим показатель жесткости $K_{3(ед)}$ армирующего слоя должен отвечать условию (8):

$$K_{3(ед)} \geq h_{3(ед)} \cdot E_{3(ед)} \geq 6,8 \cdot 10^7, \text{ Н/м} \quad (8)$$

где $h_{3(ед)}$ – толщина армирующего слоя, м; $E_{3(ед)}$ – модуль Юнга армирующего слоя, Н/м².

Соблюдая указанные технические условия возможен рациональный подбор марки промышленно-производимого (серийного) армированного ВДМ для проведения последующих реализаций его структурирования с обеспечением заявляемых эффектов увеличения вибродемпфирующей эффективности после процесса перфорирования. При вариантах перфорирования только вязкоэластичного слоя двухслойных армированных вибродемпфирующих материалов (армирующий слой неперфорирован) эффективным является диапазон значений $k_{пер(ед)} = 0,05 - 0,40$, в то время как при сквозном перфорировании вязкоэластичного и армирующего слоев – $k_{пер(ед)} = 0,05 - 0,25$. Одновременно с этим определен эффективный диаметр отверстий перфорации армированных ВДМ, находящийся в диапазоне $d_{4(ед)} = (1-6) \cdot h_{2(ед)}$ и межцентровой шаг отверстий перфорации – в диапазоне $b_{4(ед)} = (2-10) \cdot d_{4(ед)}$.

Следует отметить, что использование разработанных перфорированных структур жестких

однослойных (с вязкоэластичным вибродемпфирующим слоем) и двухслойных армированных ВДМ, к примеру, в конструкциях вибродемпфирующих прокладок панелей кузова легкового автомобиля, позволяет не только значительно (до 40%) снизить их вес и стоимость, при этом улучшить (сохранить) вибродемпфирующие свойства, но и дополнительно повысить звукоизолирующие свойства шумоизолирующих обивок.

Выводы: модифицированные структуры плосколистовых ВДМ, обладающие улучшенными техническими и стоимостными параметрами, могут находить самое широкое применение в транспортном машиностроении, шумовиброактивном производственно-технологическом и энергетическом оборудовании, бытовой технике и других областях, где являются актуальными вопросы защиты окружающей среды обитания человека от повышенных уровней ее акустического загрязнения.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-образовательные кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Краснов, А.В. Практические приемы структурирования шумопоглощающих материалов для повышения их акустической эффективности / А.В. Краснов, М.И. Фесина // Сборник трудов XX сессии Российского акустического общества. – М.: ГЕОС – 2008. – Т. 3. – С. 256-261.
2. Фесина, М.И. О расчетно-экспериментальных исследованиях перфорированного вибродемпфирующего ламината, смонтированного на изгибно-колеблющейся стальной панели / А.В. Краснов, М.И. Фесина, И.В. Подкорытов // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «Безопасность. Технологии. Управление» – 2007. – Т. 2. – С. 164-170.
3. Виброшумодемпфирующая плосколистовая прокладка: пат. RU 2333545 / М.И. Фесина, Л.А. Паньков, А.В. Краснов; опубл. 10.09.2008, Бюл. №25.
4. Многослойная армированная виброшумодемпфирующая плосколистовая прокладка: пат. RU 2351995 / Л.А. Паньков, М.И. Фесина, А.В. Краснов; опубл. 10.04.2009, Бюл. №10.
5. Колесников, А.Е. Шум и вибрация. – Л.: Судостроение, 1988. – 248 с.
6. Справочник по технической акустике / Под ред. Хекла М. и Мюллера Х.А. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
7. Tschudi, H.R. Messa a punto di nuovi metodi di caratterizzazione dell'efficacia dei materiali per migliorare l'ottimizzazione dei trattamenti // Proceeding Unikeller Conference. – 1981. – I 7. – P. 1-34.
8. Краснов, А.В. Методы определения вибродемпфирующих свойств материалов, применяемых в конструкции автомобиля // Журнал автомобильных инженеров. – 2007. – №5. – С. 40-43.
9. DIN EN ISO 6721-3-1996. Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 3: Flexural vibration; resonance-curve. – DIN Deutsches Institut für Normung e. V. – Berlin. – 1996. – 10 s.

RESULTS OF DEVELOPMENT THE STRUCTURED TYPES OF PLAINSHEET VIBRODAMPING MATERIALS

© 2010 A.V. Krasnov, M.I. Fesina, L.N. Gorina, M.V. Kravtsova, A.A. Kovalyeva,
A.G. Nazarov

Tolyatti State University

The developed methods of structural updating the plainsheet vibrodamping materials providing with it raised acoustic efficiency, reduction of weight-dimensional and cost parameters are described. Final results of comparative vibroacoustic researches of various types and marks of industrially-made not structured and test models of structured vibrodamping materials are presented. With the use of laboratory-stend units «RTC-3» and «Oberst» the effective ranges of structurization parameters of plainsheet vibrodamping materials are established.

Key words: *plainsheet vibrodamping materials, structurization*

Alexander Krasnov, Senior Lecturer at the Department
“Management of Industrial and Ecological Safety”. E-mail:
kaw@yandex.ru

Mikhail Fesina, Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor at the Department “Management of Industrial
and Ecological Safety”. E-mail: michailfes@yandex.ru

Larisa Gorina, Doctor of Pedagogy, Professor, Head of the
Department “Management of Industrial and Ecological Safety”.
E-mail: gorina@tltsu.ru

Marianna Kravtsova, Candidate of Pedagogy, Associate Professor at
the Department “Management of Industrial and Ecological Safety”

Anna Kovaleva, Graduate Student
Aleksy Nazarov, Student