

УДК 534.833

DOI: 10.15372/PMTF202215236

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУМАЖНО-СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

В. Ю. Кирпичников, В. Ю. Смольников,
Е. С. Скобля*, А. И. Сятковский*

Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия

* ОАО “Пластполимер”, Санкт-Петербург, Россия

E-mails: sotnik26@bk.ru, svu178@yandex.ru, Krony05.02.87@gmail.com,

nauka@plastpolymer.com

Исследована эффективность двух способов уменьшения вибрации и звукоизлучения пластины из бумажно-слоистого пластика (ламината). Установлено, что включение в конструкцию пластика полимерной поливинилацетатной пленки или облицовка пластины из пластика армированным вибропоглощающим покрытием на основе пленки и алюминиевой фольги или пластика приводит к существенному улучшению ее виброакустических характеристик. Наиболее существенное уменьшение вибрации и звукоизлучения зарегистрировано при нанесении покрытия с алюминиевой фольгой, толщина которой в шесть раз меньше толщины демпфируемой пластиковой пластины.

Ключевые слова: вибропоглощение, звукоизлучение, вибропоглощающие композиты, бумажно-слоистый пластик

Введение. Уменьшение вибрации и звукоизлучения корпусных и внутрикорпусных конструкций транспортных средств является одним из основных направлений улучшения их технических характеристик и создания благоприятных условий для обслуживающего персонала и пассажиров. С этой целью широко используются вибропоглощающие конструкции из пластиков — материалов с повышенным демпфированием [1, 2]. Данные конструкции легче металлических даже в случае, когда их толщина больше (плотность пластиков в 4–5 раз меньше плотности стали).

Потери колебательной энергии в пластиковых конструкциях в диапазоне низких и средних звуковых частот обычно определяются значениями коэффициента потерь η порядка $0,02 \div 0,03$. Вместе с тем известно, что значения коэффициента потерь η в корпусных и внутрикорпусных металлических конструкциях транспортных средств, например судов, вследствие оттока колебательной энергии в установленное на них оборудование, в соседние конструкции и в окружающую среду приблизительно такие же или больше. С учетом этого уменьшение вибрации и шума транспортного средства при использовании вместо металлических конструкций облегченных пластиковых конструкций оказывается незначительным. Действительно, для снижения вибрации и шума на $5 \div 6$ дБ коэффициент потерь η конструкции с улучшенными виброшумовыми свойствами должен превышать значение η недемпфированной металлической конструкции не менее чем в три раза, т. е. составлять более 0,06.

С учетом изложенного выше задача увеличения потерь колебательной энергии в конструкциях из пластика является актуальной. Имеется, по крайней мере, два способа ее решения:

— включение в материал пластика слоев вибропоглощающего материала с большими потерями колебательной энергии;

— облицовка одной или обеих поверхностей пластиковой конструкции армированным вибропоглощающим покрытием с диссипативным слоем из материала с большим значением коэффициента потерь η .

Одним из вибропоглощающих материалов, который находит широкое применение в судостроении, является поливинилацетат. Коэффициент потерь колебательной энергии полимерной пленки из поливинилацетата в диапазоне ее рабочих температур равен $2,0 \div 3,0$ [3]. Высокая виброшумовая эффективность тонких армированных вибропоглощающих покрытий на основе полимерной пленки из поливинилацетата отмечалась, например, в работах [4–6].

Целью данной работы является экспериментальное исследование эффективности указанных выше способов увеличения потерь колебательной энергии пластиковой пластины, изготовленной из бумажно-слоистого ламината. С учетом актуальности уменьшения вибрации и шума транспортных средств на низких и средних частотах диапазон исследованных частот был ограничен сверху частотой 1600 Гц.

1. Исследование пластиковых пластин с виброшумопоглощающим слоем и без него. На начальном этапе сопоставлялись виброшумовые характеристики пластинчатых образцов, изготовленных из указанного пластика и его модифицированного варианта.

При изготовлении модифицированного пластика несколько слоев крафт-бумаги заменялись полимерной пленкой из поливинилацетата марки ВПС-2,5 (рабочий диапазон температур $10 \div 30$ °С). Общая толщина испытанных образцов из стандартного и модифицированного пластика приблизительно равна 1,2 мм. Образцы имели форму квадрата с длиной стороны, приблизительно равной 0,19 м, и практически одинаковую массу.

Испытания образцов проводились в воздушном объеме лабораторного помещения. С помощью нити каждый образец вывешивался вертикально за соседние углы.

Выполнялись измерения входной вибровозбудимости и звукоизлучения образцов при ударе миниатюрным вибромолотком с датчиком контроля силы. Одна точка, в которой наносился удар, находилась в геометрическом центре (ГЦ) образца, другая — на одном и том же расстоянии от ГЦ и одного из его углов. Здесь и далее под входной вибровозбудимостью понимается величина $D_A = 20 \lg (AF_0/(a_0F))$, где A — виброускорение, $\text{м}/\text{с}^2$; F — приложенная сила, Н; $a_0 = 10^{-6} \text{ м}/\text{с}^2$ — пороговое значение виброускорения; $F_0 = 1$ Н.

Звукоизлучение образцов измерялось на расстоянии 1 м от их поверхности. Точка, в которой измерялось звукоизлучение $D_P = 20 \lg (PF_0/(p_0F))$ (P — звуковое давление, Па; $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па), находилась на нормали к поверхности, проведенной из ГЦ.

Типичные узкополосные ($\Delta f = 0,25$ Гц) спектры входной вибровозбудимости и звукоизлучения образцов, измеренные в их ГЦ, приведены на рис. 1. Видно, что значения D_A и D_P образца из модифицированного пластика (кривые 2) существенно меньше соответствующих значений, измеренных при возбуждении образца из стандартного бумажно-слоистого пластика (кривые 1). На низшей резонансной частоте колебаний образцов соответствующая разность значений их входной вибровозбудимости и звукового давления составляет приблизительно 10 дБ.

Значения коэффициента потерь колебательной энергии образцов определялись экспериментально-расчетным методом с использованием формулы $\eta = \Delta f_p/f_p$, где Δf_p — ширина резонансного максимума на уровне, который на 3 дБ меньше его наибольшего значения на частоте f_p . На трех низших резонансных частотах $f = 124, 308, 546$ Гц изгиб-

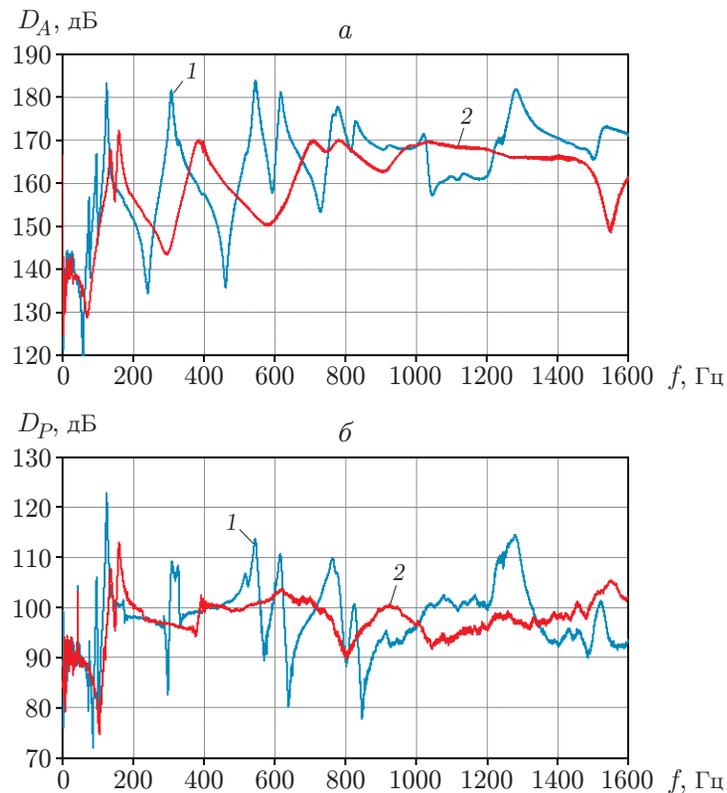


Рис. 1. Узкополосные частотные спектры входной вибровозбудимости (а) и звукоизлучения (б) стандартного (1) и модифицированного (2) образцов

ных колебаний образца из пластика значения η равны 0,024, 0,023 и 0,016 соответственно. На резонансных частотах $f = 159, 385, 709$ Гц колебаний образца из модифицированного пластика значения коэффициента потерь η составили 0,050, 0,096 и 0,065, т. е. превысили указанные выше значения в среднем приблизительно в 3,5 раза.

По-видимому, изготовление облегченных конструкций из модифицированного пластика будет способствовать уменьшению резонансных вибрации и звукоизлучения при их использовании вместо металлических и пластиковых (изготовленных из стандартного бумажно-слоистого пластика) конструкций не менее чем на $5 \div 6$ дБ.

2. Исследование пластиковых пластин с армированным вибропоглощающим покрытием. Эффективность увеличения потерь колебательной энергии в пластиковых конструкциях путем нанесения на их поверхность армированного вибропоглощающего покрытия (АВП) исследовалась с использованием макета участка инженерной конструкции между соседними подкреплениями — пластины с размерами $522,0 \times 371,0 \times 1,2$ мм, изготовленной из бумажно-слоистого пластика. Пластина крепилась по контуру к раме, имитирующей ограничивающие ее подкрепления.

Условия проведения эксперимента были подобны описанным в п. 1. Возбуждение вибрации пластины с АВП осуществлялось периодическими ударами вибромолотка с датчиком силы по ее необлицованной поверхности, на которой устанавливался датчик вибрации.

Исследовалась эффективность АВП с армирующим слоем из алюминиевой фольги толщиной 10 (АВП 1), 100 (АВП 2), 200 (АВП 3) мкм и из пластиковой пластины толщиной 1,2 мм (АВП 4). Во всех случаях диссипативным слоем покрытий являлась полимерная пленка ВПС-2,5 толщиной 0,5 мм из поливинилацетата. Масса пленки (0,155 кг) составляла 41,6 % массы демпфируемой пластины.

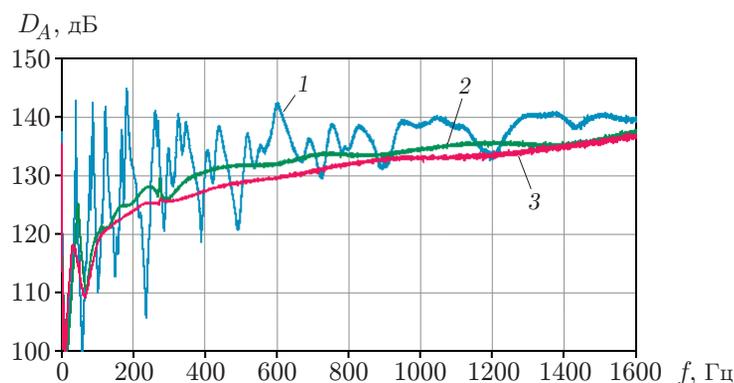


Рис. 2. Узкополосные частотные спектры входной вибровозбудимости пластины из пластика в отсутствие покрытия (1), с АВП 2 (2) и с АВП 3 (3)

Масса АВП 1, АВП 2 и АВП 3 равна 43, 55 и 69 % массы пластины, а масса фольги — приблизительно 3, 34 и 67 % массы пленки. Масса покрытия АВП 4 превышала массу демпфируемой пластины в 1,42 раза. При этом масса пластины армирующего слоя была больше массы полимерной пленки в 2,4 раза.

Измерения входной вибровозбудимости демпфируемой пластины выполнялись в пучностях трех низших форм изгибных колебаний и в точке, находящейся на одном и том же расстоянии от ГЦ и одного из углов пластины. Типичные узкополосные спектры входной вибровозбудимости демпфируемой пластины в частотном диапазоне $f = 0 \div 1600$ Гц в отсутствие (кривая 1) и при наличии (кривые 2, 3) АВП приведены на рис. 2. Кривые 2, 3 соответствуют спектрам вибрации пластины, облицованной покрытиями АВП 2 и АВП 3. Измерения D_A выполнены в ГЦ пластины.

На рис. 2 видно, что нанесение покрытий с алюминиевой фольгой толщиной 100 и 200 мкм в качестве армирующего слоя привело к существенному уменьшению входной вибровозбудимости пластины. Эффективность (наиболее существенное уменьшение величины $D_A = 20 \div 26$ дБ) АВП 2 и АВП 3 зарегистрирована на низших резонансных частотах колебаний пластины при $f < 200$ Гц. На тех же частотах к сравнительно небольшому (менее 5 дБ) уменьшению входной вибровозбудимости привела облицовка демпфируемой пластины АВП 1. Эффективность АВП 4, несмотря на существенно (в 2,56 раза) большую относительную массу, чем у АВП 2, незначительно отличалась от эффективности последнего и была приблизительно на 6 дБ меньше эффективности АВП 3, имеющего в два раза меньшую массу. Полученные результаты могут быть объяснены тем, что жесткостные свойства армирующего слоя оказывают более существенное влияние на эффективность АВП, чем его масса.

3. Результаты испытания пластин с АВП. В таблице приведены экспериментально-расчетные значения коэффициента потерь демпфируемой пластиковой пластины в отсутствие и при наличии испытанных АВП.

Анализ приведенных в таблице данных позволяет сделать следующие выводы:

— среднее по семи резонансным частотам значение коэффициента потерь η необлицованной пластиковой пластины приблизительно равно 0,028;

— нанесение на пластиковую пластину АВП 1 приводит к увеличению среднего значения η практически в два раза;

— значения η пластины из пластика с АВП 2 и АВП 4 находятся в диапазоне $0,18 \div 0,30$, т. е. приблизительно на порядок превышают значения коэффициента потерь необлицованной пластины из пластика;

Значения низших резонансных частот изгибных колебаний и коэффициента потерь пластины из пластика в отсутствие и при наличии испытанных АВП

Пластина без АВП		Пластина с АВП 1		Пластина с АВП 2		Пластина с АВП 3		Пластина с АВП 4	
f , Гц	η								
40	0,025	39	0,05	45	0,18	32	0,57	39	0,27
66	0,027	70	0,06	73	0,30	—	—	75	0,26
87	0,026	89	0,06	96	0,27	97	0,45	—	—
122	0,025	130	0,05	—	—	—	—	125	0,25
182	0,030	197	0,06	—	—	—	—	240	0,30
326	0,032	—	—	—	—	—	—	320	0,19
441	0,045	483	0,07	—	—	—	—	430	0,23

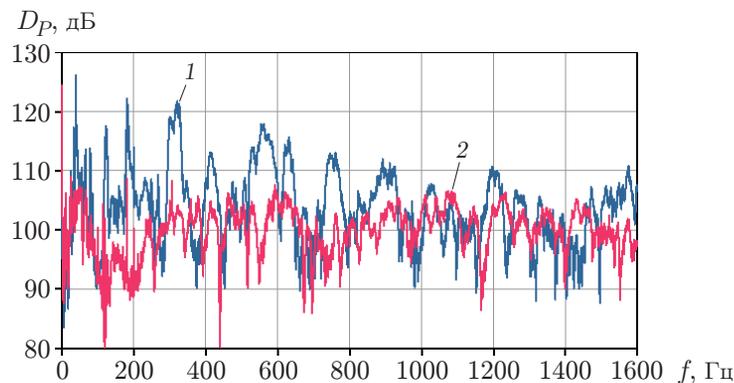


Рис. 3. Узкополосные спектры звукоизлучения пластины из пластика в отсутствие покрытия (1) и с АВП 3 (2)

— облицовка пластиковой пластины АВП 3 приводит к наибольшему увеличению потерь колебательной энергии и к практически полному исчезновению в спектрах входной вибровозбудимости большинства резонансных максимумов; значения η на частотах $f = 32$, 97 Гц оказались равными 0,57 и 0,45 соответственно.

Высокая эффективность АВП 2 и АВП 3 с армирующим слоем из алюминиевой фольги была подтверждена результатами измерений звукового давления. Типичные узкополосные спектры звукоизлучения пластины из пластика в отсутствие (кривая 1) и при наличии (кривая 2) АВП 3 с фольгой толщиной 200 мкм приведены на рис. 3.

Заключение. Таким образом, в работе экспериментально подтверждена эффективность двух способов увеличения потерь колебательной энергии в пластинах из пластика. Установлено, что значения коэффициента потерь колебательной энергии на низших резонансных частотах изгибных колебаний пластины из пластика с полимерной пленкой приблизительно в 3,5 раза больше соответствующих значений η в пластине, изготовленной из стандартного бумажно-слоистого пластика. Проведено сравнение значений коэффициента потерь колебательной энергии в пластиковой пластине в отсутствие и при наличии на одной из ее поверхностей армированного вибропоглощающего покрытия на основе полимерной пленки из поливинилацетата. Показано, что эффективность АВП с армирующим слоем из алюминиевой фольги незначительно отличается от эффективности покрытия с армирующим слоем из пластика, масса которого приблизительно в 2,5 раза больше.

Наибольшая эффективность (практически полное исчезновение в спектрах вибрации и звукоизлучения большинства резонансных максимумов) зарегистрирована при нанесении на демпфируемую пластину покрытия с алюминиевой фольгой, толщина которой в шесть раз меньше толщины пластины; значения коэффициента потерь колебательной энергии в пластине с указанным АВП на частотах $f = 32, 97$ Гц равны 0,57 и 0,45 соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н., Сагомонова В. А., Сорокин А. Е. и др. Изучение структуры и свойств полимерных материалов с интегрированным вибропоглощающим слоем // Polymer Sci. Ser. D. 2020. V. 13, N 3. P. 335–340.
2. Платонов М. М., Шульдешов Е. М., Нестерова Т. А., Сагомонова В. А. Акустические полимерные материалы нового поколения // Тр. ВИАМ. 2016. Т. 40, № 4. С. 76–84. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-9-9.
3. Скуратова Т. Б., Кириллов С. Е., Сятковский А. И. Диссипативные свойства полимерных пленок и композитных материалов на основе поливинилацетата // Журн. прикл. химии. 2019. Т. 92, № 7. С. 881–887.
4. Кирпичников В. Ю., Сятковский А. И. Уменьшение вибрации конструкций тонкими армированными покрытиями на основе полимерной ВПС пленки // 6-я Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием “Защита от повышенного шума и вибрации”: Сб. докл. Санкт-Петербург (Россия), 21–23 марта 2017 г. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т “Военмех”, 2017. С. 382–388.
5. Кирпичников В. Ю., Кощев А. П., Смольников В. Ю., Сятковский А. И. Экспериментальные исследования эффективности тонкого армированного вибропоглощающего покрытия на основе полимерной пленки ВПС // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2018. Вып. 2. С. 99–104.
6. Кирпичников В. Ю., Кощев А. П., Сятковский А. И. Исследование эффективности металл-полимерных вибропоглощающих покрытий с тонким армирующим слоем // ПМТФ. 2020. Т. 61, № 6. С. 70–74.

*Поступила в редакцию 6/XII 2022 г.,
после доработки — 6/XII 2022 г.
Принята к публикации 26/XII 2022 г.*
