

УДК: 534.23
OECD: 01.03.AA

Экспериментальное исследование низкочастотной эффективности малогабаритного звукоизолирующего кожуха

Кирпичников В.Ю.¹, Кошечев А.П.², Добрынин Д.Г.³, Дроздова Л.Ф.⁴
¹ Главный научный сотрудник, ² Начальник стенда, ³ Инженер
^{1,2,3} ФГУП "Крыловский государственный научный центр", Санкт-Петербург
⁴ Профессор, Балтийский государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

Аннотация

Выполнены экспериментальные исследования звукоизлучения крышки малогабаритного звукоизолирующего кожуха на низших резонансных частотах изгибных колебаний при отсутствии и наличии на ней тонкого армированного вибропоглощающего покрытия. Показано, что облицовка крышки покрытием, содержащим полимерную пленку на основе поливинилацетата, приводит к повышению эффективности кожуха на частотах, где звукопоглощающие материалы с существенно большими толщинами не работают.

Ключевые слова: звукоизолирующие кожухи, эффективность, низкие частоты, вибропоглощающие покрытия, звукопоглощение.

Experimental study of low-frequency effectiveness of small sound isolation enclosure

*Kirpichnikov V.Yu.¹, Kosheev A.P.², Dobrynin D.G.³, Drozdova L.F.⁴
¹ Chief researcher, ² Head of the stand, ³ Engineer
^{1,2,3} Federal state unitary enterprise "Krylov State Research Centre", St. Petersburg
⁴ Professor, Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinova,
Russia, St. Petersburg*

Abstract

Experimental studies of the sound emission of the cover in a small sound isolation enclosure at the lower resonant frequencies of bending vibrations in the absence and presence of a thin reinforced vibrating coating have been carried out. It is shown that the cover with a coating containing a polymer film based on polyvinylacetate, leads to an increase in the effectiveness of the enclosure at frequencies where sound-absorbing materials with significantly greater thicknesses do not work.

Keywords: sound isolation enclosures, effectiveness, low-frequency, vibration-absorbing coatings, sound absorption.

Введение

Звукоизолирующие кожухи являются наиболее эффективным средством уменьшения шума, создаваемого оборудованием на средних и высоких частотах. В диапазоне низких звуковых частот (ориентировочно до 300 Гц) эффективность кожухов, как правило, либо отсутствует, либо оказывается невысокой. Однако именно низкочастотный шум оборудования, особенно при наличии тональных составляющих, часто оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на человека. В этих случаях задача снижения уровней шума от работы оборудования с помощью эффективного на низких частотах кожуха приобретает особую актуальность.

Невысокая эффективность кожухов на низких частотах объясняется меньшей, чем на средних и высоких частотах, звукоизоляцией его стенок, увеличением уровней шума во внутреннем воздушном объеме кожуха и практическим отсутствием эффективного на низких частотах звукопоглощающего материала (при реальных толщинах), устанавливаемого на внутренние поверхности стенок. Вместе с тем, шум во внутреннем объеме воздействует на ограждения (стенки, крышка) кожуха, вибрации и звукоизлучение которых уменьшают их звукоизоляцию [1] и оказывают негативное влияние на эффективность кожуха. Известно, что наибольшее отрицательное влияние этого фактора имеет место на низших резонансных частотах изгибных колебаний неподкрепленных ограждений или их участков между соседними подкреплениями.

С учетом изложенного, уменьшение уровней вибрации и звукоизлучения ограждений кожуха на низших резонансных частотах изгибных колебаний является одной из перспективных задач повышения низкочастотной эффективности кожуха.

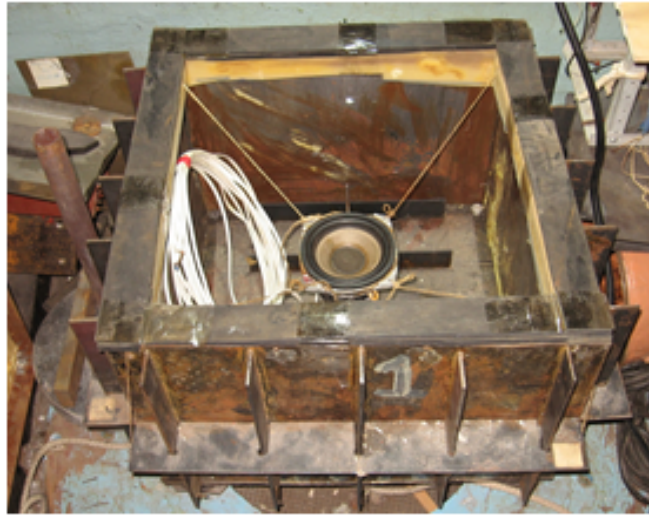
Наиболее широкое применение для вибродемпфирования конструкций, в том числе и ограждений кожухов, нашли армированные вибропоглощающие покрытия (АВПП). АВПП состоят из диссипативного слоя, как правило на основе резин или резиноподобных материалов, и металлического армирующего слоя. Толщины подобных покрытий в два и более раз превосходят толщину демпфируемой конструкции, а масса покрытий составляет 40–50% ее массы [2]. В последние годы стали применять АВПП с существенно лучшими массогабаритными свойствами. В качестве диссипативного слоя в таких АВПП используют полимерную пленку. Наибольшей эффективностью обладают покрытия с пленкой на основе поливинилацетата – материала, который является рекордсменом по вибропоглощению среди существующих материалов [3,4].

Эффективное вибродемпфирование конструкций может быть достигнуто при установке на них не только покрытий, но и специальных вибропоглощающих устройств. В отличие от пространственно распределенных покрытий вибропоглощающие устройства, основными рабочими элементами которых являются облицованные покрытием резонирующие пластины (полосы), могут быть отнесены к классу локальных пластинчатых (полосовых) вибропоглотителей. Некоторые типы подобных вибропоглотителей, которые могут быть использованы для уменьшения вибрации и шумоизлучения стенок кожуха, рассмотрены в монографии [5].

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование способа повышения низкочастотной эффективности малогабаритного звукоизолирующего кожуха путем вибродемпфирования его крышки, вносящей основной вклад в суммарный уровень звукоизлучения ограждений.

1. Экспериментальное исследование эффективности звукоизолирующего кожуха

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием малогабаритного звукоизолирующего кожуха, фотографии которого приведены на Рисунке 1.



а)



б)

Рис. 1. Фото кожуха: вид на внутренний объем с громкоговорителем (а), кожух и рамка с пластиной, облицованной АВПП (б)

Корпус кожуха представляет собой каркас из стальных уголков $20 \times 20 \times 1,5$ мм. К каркасу закреплены стальные пластины толщиной 2 мм. Размеры боковых стенок $0,3 \times 0,5$ м. Размеры крышки и дна $0,5 \times 0,5$ м. Каждая боковая стенка кожуха снаружи

подкреплена пятью вертикальными (4×40 мм) и одним горизонтальным (4×60 мм) прямоугольными ребрами жесткости, а дно – тремя стальными уголками ранее указанного размера и перекрестным ребром жесткости с размером 4×60 мм.

В качестве источника шума последовательно использовались громкоговорители с диаметром рупора ~ 180 и 360 мм, оси которых, для лучшего возбуждения крышки на низшей резонансной частоте, находились на нормали к ее поверхности, проведенной из геометрического центра. Кратчайшее расстояние между громкоговорителем и крышкой, закрепленной либо на горизонтальных уголках каркаса кожуха, либо на жесткой рамке высотой $\sim 0,08$ м, составляло $\sim 0,1$ и $\sim 0,2$ м соответственно. (Рамка устанавливалась на уголки каркаса кожуха через прокладки из пористой резины толщиной 10 мм).

В качестве диссипативного слоя армированного вибропоглощающего покрытия была применена пленка марки ВПС-2,5 с повышенной работоспособностью в диапазоне обычных температур воздуха в производственных помещениях (порядка $10-30^\circ\text{C}$) [6].

Для уменьшения вклада боковых стенок и дна в суммарное звукоизлучение ограждающих конструкций кожуха в направлении над его крышкой, на которую устанавливалось средство вибродемпфирования, они облицовывались изнутри АВПП с диссипативным слоем из пористой резины толщиной 10 мм, армированной стальным листом толщиной 1 мм. Стальные листы АВПП на стенках и дне облицовывались звукопоглощающим материалом (ЗПМ) толщиной 30 мм с объемной плотностью ~ 40 кг/м³. Было установлено практическое отсутствие влияния звукоизлучения стенок и дна на звуковое поле над крышкой кожуха в рабочем диапазоне низших резонансных частот ее изгибных колебаний.

Измерения уровней звукового давления выполнялись на нормали, проведенной из геометрического центра крышки на расстояниях 0,5, 1,0 и 1,5 м от ее поверхности.

Были испытаны последовательно два варианта крышки в виде однородной (неподкрепленной) стальной пластины толщиной 2 и 3 мм. Армированным вибропоглощающим покрытием на основе полимерной пленки типа ВПС - 2,5 облицовывалась одна из поверхностей крышки. Толщина пленки составляла 0,5 мм. Армирующим слоем покрытия на крышке толщиной 3 мм являлась алюминиевая пластина толщиной 1 мм, а на крышке толщиной 1,5 мм – лист кровельного железа толщиной 0,46 мм. Отношение массы АВПП к массе крышки составляло примерно 12 и 30% соответственно.

2. Анализ полученных результатов

На начальном этапе испытаний определялась эффективность (Θ), дБ, каждого варианта крышки без армированного вибропоглощающего покрытия как разность уровней звукового давления ($УЗД$), дБ, при отсутствии L_{p1} , дБ, и установке L_{p2} , дБ, крышки.

Термин эффективность, на наш взгляд более точен, так как учитывает не только звукоизолирующую способность крышки, но и её вибродемпфирование. При отсутствии средств вибродемпфирования в крышке термины эффективность и звукоизоляция идентичны, а при облицовке термин эффективность более точен, учитывая не только виброизоляцию, но и вибродемпфирование.

На Рисунках 2 и 3 в качестве примера приведены узкополосные ($\Delta f = 4$ Гц) и третьоктавные спектры уровней звукового давления при отсутствии (кривая 1) и наличии (кривая 2) на кожухе крышки толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м.

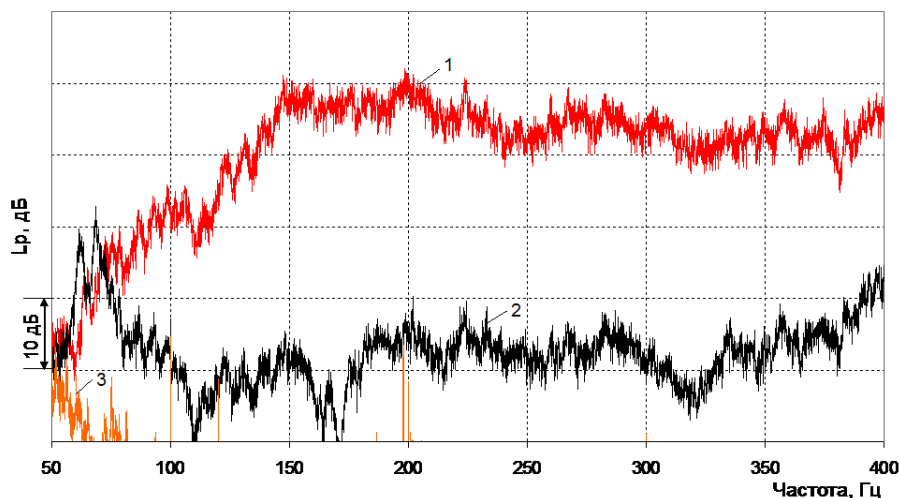


Рис. 2. Узкополосные спектры уровней звукового давления при отсутствии (1) и наличии крышки толщиной 2 мм без АВПП (2). Кривая 3 – фоновая помеха

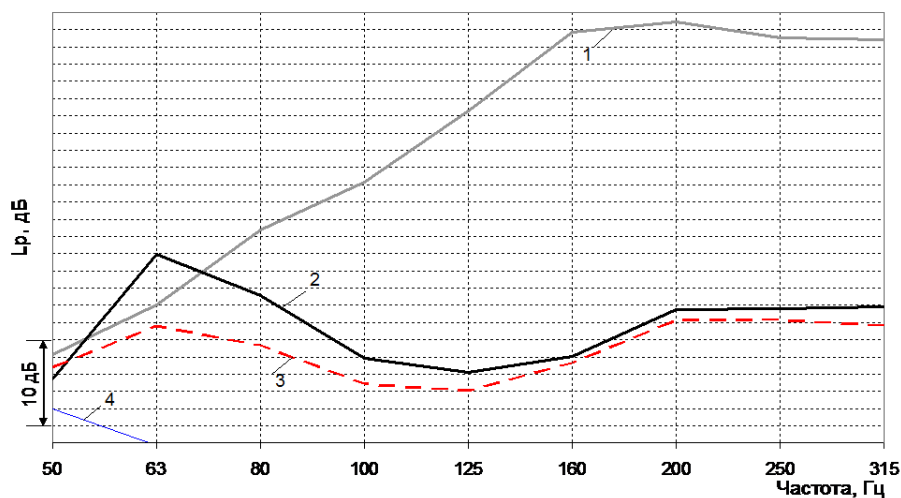


Рис. 3. Третьооктавные спектры уровней звукового давления при отсутствии (1) и наличии крышки толщиной 2 мм без АВПП (2) и с АВПП (3). Кривая 4 – фоновая помеха

Видим, что установка крышки привела к существенному увеличению уровней звукового давления над крышкой на частотах 61,4 и 68,5 Гц (рис. 2), а также в третьооктавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц (рис. 3). Интенсивное звукоизлучение крышки на указанных частотах обусловлено повышенными уровнями ее вибрации на резонансных формах изгибных колебаний с полуволной в направлении каждой кромки. Согласно расчету, частота f_{11} при жестком креплении кромок крышки к жесткому каркасу кожуха равняется ~ 58 Гц. Раздвоение частоты f_{11} связано с особенностями крепления кромок крышки к резонирующим уголкам каркаса.

Возникновение интенсивного звукоизлучения необлицованной АВПП крышки привело к ее отрицательной на указанных частотах звукоизоляции. На более высоких резонансных частотах, из-за существенно худшей вибровозбудимости крышки при

практически равномерном распределении на ней возбуждающих звуковых давлений и взаимной компенсации звукоизлучения от соседних противофазных полуволновых участков ее поверхности, уровни звукового давления над крышкой при ее установке не повышаются.

Оба приведенных фактора по сути являются причиной увеличения звукоизоляции крышки. Эффективность крышки растет с увеличением частоты от ~ 8 дБ в третьоктавной полосе 80 Гц до ~ 38 дБ в полосе 160 Гц (рис. 3). На более высоких частотах эффективность крышки в рабочем диапазоне частот практически остается неизменной.

Аналогичный частотный характер эффективности необлицованной АВПП крышки был обнаружен и при испытаниях ее второго варианта толщиной $3 \cdot 10^{-3}$ м, закрепленного на каркасе через жесткую, в диапазоне исследуемых частот, рамку. Отрицательная эффективность крышки была зарегистрирована на низшей резонансной частоте ее изгибных колебаний $f_{11} \approx 157$ Гц.

Облицовка обеих испытанных крышек армированным вибропоглощающим покрытием приводила к существенному увеличению их эффективности на низшей резонансной частоте изгибных колебаний. Уровни звукового давления над крышкой толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м уменьшились на 11 дБ (61,4 Гц) и ~ 15 дБ (68,5 Гц), а над крышкой толщиной $3 \cdot 10^{-3}$ м – на 10 дБ (рис. 4).

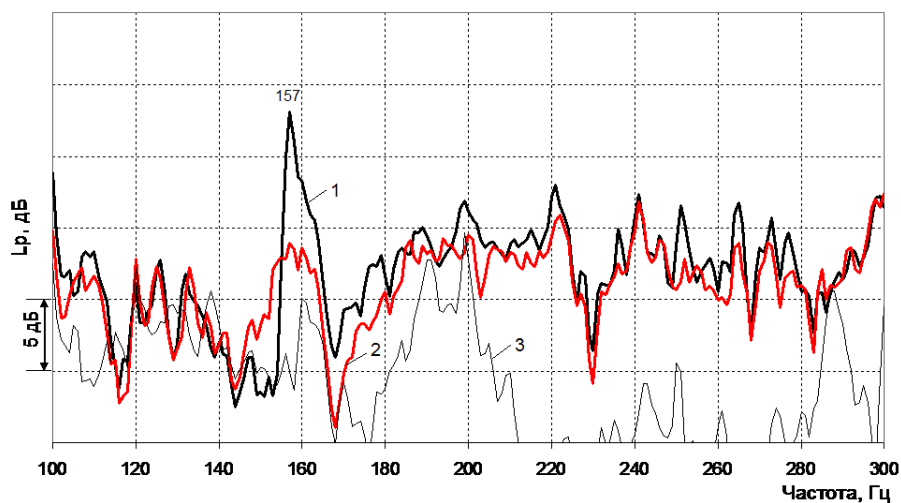


Рис. 4. Узкополосные спектры уровней звукового давления при наличии крышки толщиной 3 мм без АВПП (1) и с АВПП (2). Кривая 3 - фоновая помеха

Третьоктавные уровни звукового давления над крышками в полосах, содержащих низшую резонансную частоту их колебаний, при облицовке крышек снижались на 8 дБ (на рис. 3 разница между кривыми 2 и 3 в полосе 63 Гц) и на 5 дБ (в полосе 160 Гц) соответственно. На более высоких частотах, из-за малого влияния резонансных колебаний крышек на звуковое поле, уменьшение УЗД при их облицовке АВПП не превышало, как правило, величину 2–3 дБ. Полученные результаты не зависели от места нахождения АВПП – на его внутренней или внешней поверхности.

Несколько меньшее (8 дБ) снижение уровней звукового давления на низшей резонансной частоте f_{11} изгибных колебаний крышки толщиной 3 мм было получено при установке на нее настроенного на f_{11} резонирующего полосового вибропоглотителя (РПВ). Масса РПВ составляла $\sim 3\%$ от массы крышки.

На завершающем этапе испытаний определялась эффективность облицовки внутренней поверхности крышки звукопоглощающим материалом (ЗПМ) плотностью 20–40 кг/м³. Толщина ЗПМ составляла $3 \cdot 10^{-2}$ м. Эффективность ЗПМ в диапазоне низших резонансных частот изгибных колебаний испытанных вариантов крышки отсутствовала. Уменьшение УЗД при установке ЗПМ было зарегистрировано лишь на частотах $f \geq 800$ Гц. Размещение ЗПМ на внешней поверхности крышки не приводило к заметному уменьшению УЗД и на более высоких частотах.

Заключение

1. Интенсивное звукоизлучение ограждений малогабаритного кожуха на низшей резонансной частоте f_{11} их изгибных колебаний приводит к существенному ухудшению его эффективности.

2. Улучшение акустических свойств малогабаритного звукоизолирующего кожуха на частоте f_{11} может быть достигнуто облицовкой ограждений тонким армированным вибропоглощающим покрытием. Звукопоглощающие материалы с существенно большей толщиной на указанной частоте не работают.

3. Эффективность АВПП не зависит от места его нахождения на ограждении (внутренняя или внешняя поверхность).

Авторы благодарят М.В. Игушкину, выполнившую основной объем работы по оформлению и подготовке статьи к печати.

Список литературы

1. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция / И.И. Боголепов - Л.: Изд-во Судостроение, 1986-386 с.
2. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций / А.С. Никифоров- Л.: Изд-во Судостроение, 1990.
3. Алексеев С.А. Вибродемпфирующие свойства полимерных пленок /С.А. Алексеев, А.И.Сятковский // Судостроение. -2015-Вып. 6-С. 45–46.
4. Кирпичников В. Ю. Экспериментальное исследование эффективности вибропоглощающего покрытия / А.И. Сятковский, Л.Ф. Дроздова, А.Е. Шашурин // БЖД – 2019-№ 2- С 33-39
5. Кирпичников В.Ю. Вред и польза резонансных явлений в элементах судовых конструкций / В.Ю. Кирпичников -СПб: Изд-во Крыловский государственный научный центр - 2019.
6. Кирпичников В.Ю. Экспериментальные исследования эффективности армированного вибропоглощающего покрытия на основе плёнок из поливинилацетата с различными рабочими диапазонами температур// Кирпичников В.Ю., Грушецкий И.В., Сятковский А.И., Дроздова Л.Ф Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Защита от шума и вибрации"/ред. Н.И.Иванова – СПб., 2019 г.- С. 39-46.

References

1. Bogolepov I.I. Promyshlennaya zvukoizolyaciya / I.I. Bogolepov - L.: Izd-vo Sudostroenie, 1986-386 s.

2. Nikiforov A.S. Akusticheskoe proektirovanie sudovyh konstrukcij / A.S. Nikiforov-L.: Izd-vo Sudostroenie, 1990.
3. Alekseev S.A.. Vibrodempfiruyushchie svoystva polimernyh plenok /S.A. Alekseev, A.I..Syatkovskij // Sudostroenie. -2015-Vyp. 6-S. 45–46.
4. V. Yu. Kirpichnikov Experimental Study of Effectiveness of Vibration Absorbing Coating // A. I. Sjatkovskij, L. F. Drozdova, A. E. Shashurin // Livelihoods safety- 2019 - № 2 – P 33-39
5. Kirpichnikov V.YU. Vred i pol'za rezonansnyh yavlenij v elementah sudovyh konstrukcij / -SPb: Izd-vo Krylovskij gosudarstvennyj nauchnyj centr, -2019.
6. V.Yu. Kirpichnikov //V.Yu. Kirpichnikov, I.V. Grusheckij, A.I. Sjatkovskij, L.F.Drozdova Experimental study of the effectiveness of the absorption reinforced coatings based on film of polyvinyl acetate// Proceedings of VII Conference “Noise and vibration protection” edition by N.I.Ivanov – SPb. – 2019 - P 39-40/