

В.Ю. Кирпичников¹, А.П. Кошечев¹, В.Ю. Смольников¹, А.И. Сятковский²

¹ ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

² ОАО «Пластполимер», Санкт-Петербург, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОГО АРМИРОВАННОГО ВИБРОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ ВПС

Объект и цель научной работы. Экспериментальные исследования эффективности армированного вибропоглощающего покрытия (ВПП) с использованием однородной пластины (модели ячейки конструкции). Рассмотрены варианты облицовки пластины листами покрытия, имеющими неодинаковые размеры.

Материалы и методы. Определение разницы уровней вибровозбудимости и значений коэффициента потерь η колебательной энергии в пластине при отсутствии и наличии ВПП.

Основные результаты. Эффективность покрытия зависит от размера его листов, оказывающих непосредственное влияние на интенсивность колебательных процессов в армирующем и диссипативном слоях. В диапазоне низших резонансных частот изгибных колебаний пластины эффективность облицовки единым листом больше эффективности при нанесении покрытия малогабаритными листами.

Заключение. Показана высокая эффективность тонкого армированного ВПП на основе полимерной пленки. Практическое значение работы состоит в возможности применения испытанного ВПП для уменьшения уровней вибрации конструкций в широком диапазоне частот.

Ключевые слова: армированное вибропоглощающее покрытие, полимерная пленка, размеры листов, эффективность.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Кирпичников В.Ю., Кошечев А.П., Смольников В.Ю., Сятковский А.И. Экспериментальные исследования эффективности тонкого армированного вибропоглощающего покрытия на основе полимерной пленки ВПС. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 2(384): 99–104.

УДК 669.018.64

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-99-104

V. Kirpichnikov¹, A. Koscheev¹, V. Smolnikov¹, A. Syatkovsky²

¹ Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

² JSC Plastpolymer, St. Petersburg, Russia

EXPERIMENTAL STUDIES ON EFFICIENCY OF THIN REINFORCED ANTI-VIBRATION COATING BASED ON VPS POLYMERIC TAPE

Object and purpose of research. Experimental studies on efficiency of thin reinforced anti-vibration coating performed with a uniform plate (structure cell model). The paper discusses different variants of tiling the plate with coating pieces of different size.

Materials and methods. Determination of difference in vibration excitation levels and vibration loss coefficients η in the plate with and without anti-vibration coating.

Main results. Efficiency of coating depends on the size of its tiles that have direct effect upon vibration intensity in reinforcing and dissipating layers. Within the range of lower resonance frequencies for bending vibrations of the plate, single-piece tiling is more efficient than tiling with multiple tiles of small size.

Conclusion. The paper shows that thin reinforced anti-vibration coating based on polymeric film is highly efficient. This work is of practical importance because the coating tested in this study can mitigate structural vibration in a wide frequency band.

Key words: reinforced anti-vibration coating, polymeric film, size of tiles, efficiency.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Kirpichnikov V., Koscheev A., Smolnikov V., Syatkovsky A. Experimental studies on efficiency of thin reinforced anti-vibration coating based on VPS polymeric tape. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 2(384): 99–104 (in Russian).

UDC 669.018.64

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-384-99-104

Уменьшение вибрации конструкций обычно осуществляют путем облицовки их пластинчатых элементов вибропоглощающими покрытиями (ВПП) [1]. В последние годы находят применение новые армированные ВПП с диссипативным слоем на основе полимерной пленки ВПС – «рекордсмена» по вибропоглощению среди используемых материалов. На высокую эффективность подобных ВПП в широком диапазоне частот указывалось в работе [2]. Показано, что при облицовке модели судовой конструкции армированным ВПП с меньшей в пять раз толщиной уровни вибрации снижаются на 18–25 дБ. Моделью являлась однородная стальная пластина толщиной 4×10^{-3} м с размерами $1 \times 0,75$ м. Такие же размеры в плане имел лист армированного ВПП. Испытывались ВПП с одинаковой ($0,6 \times 10^{-3}$ м) толщиной армирующего слоя и разными ($1,5 \times 10^{-3}$, $0,4 \times 10^{-3}$ и $0,2 \times 10^{-3}$ м) толщинами диссипативного слоя. Потери колебательной энергии в пластине до облицовки ВПП были существенно меньше ($\eta \approx 0,002$) потерь в судовых конструкциях ($\eta \approx 0,02–0,05$).

В ходе лабораторных испытаний и последующих работ на судне было установлено, что наносить тонкие армированные ВПП даже на менее габаритные участки конструкций единым листом затруднительно. Для качественного нанесения ВПП его листы должны иметь размеры в плане не более 0,4 м. Однако не уменьшит ли подобное ограничение размеров листов тонких армированных ВПП их эффективность? Какие значения η в судовых конструкциях можно ожидать при их облицовке такими ВПП? Будут ли влиять на их эффективность механические соединения с конструкцией, без которых ВПП на судах не устанавливаются?

Основной целью настоящей работы являлось получение ответов на эти вопросы и эксперимен-

тальная проверка очевидного способа повышения эффективности тонкого армированного ВПП путем увеличения площади облицовки и числа слоев покрытия. Особое внимание уделено диапазону с низшими резонансными частотами изгибных колебаний пластины, уменьшение уровней вибрации в котором представляет наибольшие трудности.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием однородной пластины с ранее указанными толщиной и размерами в плане. На первом этапе работ определялась эффективность испытанного в [2] армированного ВПП на основе стального листа и полимерной пленки ВПС. Схемы последовательной облицовки одной из поверхностей пластины листами ВПП квадратной формы со стороной 0,24 м и толщиной $\sim 1,2 \times 10^{-3}$ м приведены на рис. 1. Армирующий слой имел толщину $0,6 \times 10^{-3}$ м. Эффективность всех схем первого и последующих этапов облицовки пластины определялась при отсутствии механических соединений с листами ВПП. Влияние соединений (винты в углах листов) исследовалось при схеме облицовки рис. 1г и оказалось малозаметным.

Измерялись уровни входной вибровозбудимости A/F пластины – уровни виброускорения A (дБ) относительно порогового значения 10^{-6} м/с², в точке действия силы F , имеющей амплитуду 1 Н. Измерения проводились в геометрическом центре (ГЦ), в одном из углов на расстоянии от кромок, равных четвертой части их длины, и в двух точках посередине между ГЦ и кромками на линиях кратчайшего расстояния. Все точки находились на необлицованной поверхности. Усредненные по точкам измерения величины уменьшения уровней входной вибровозбудимости на низших резонансных частотах пластины при ее последовательной облицовке листами ВПП при-

ведены в таблице. (Уровень вибрации на низшей резонансной частоте ~20 Гц, со скручивающейся относительно одной из диагоналей пластины формой колебаний, не типичной для ячеек конструкций, был соизмерим с помехой, и нами не рассматривается). Также в таблице содержатся величины эффективности ВПП при его нанесении на поверхность пластины единым листом общей толщиной 10^{-3} м при толщине армирующего слоя $0,6 \times 10^{-3}$ м [2]. Там же приведены величины эффективности ВПП из трех листов с размерами $1,0 \times 0,24$ м при общей толщине $0,52 \times 10^{-3}$ м с толщиной армирующего слоя $0,12 \times 10^{-3}$ м.

Обращаясь к таблице, видим, что увеличение площади ВПП, как и ожидалось, повышает его эффективность. Наибольшее уменьшение уровней вибрации, особенно на резонансных частотах 176, 208, 280 и 376 Гц, наблюдается при установке одного листа ВПП в зоне ГЦ пластины (рис. 1а). Отнесенная к площади пластины площадь ВПП μ при этой схеме равняется ~8 %.

С увеличением μ от ~42 % (рис. 1б) до ~75 % (рис. 1г) эффективность ВПП вырастает всего лишь на 3-4 дБ и на двух низших резонансных частотах изгибных колебаний пластины оказывается намного меньше (на 13–18 дБ) эффективности такого же ВПП [2] при облицовке единым листом всей поверхности пластины; также почти на всех частотах она меньше эффективности ВПП из трех полос, которое в ~2 раза тоньше. (Отметим, что масса испытанного ВПП при относительной площади облицовки ~42 % была меньше массы пластины примерно в 16 раз.) Полученный результат можно объяснить неодинаковым влиянием армирующего слоя на колебательный про-

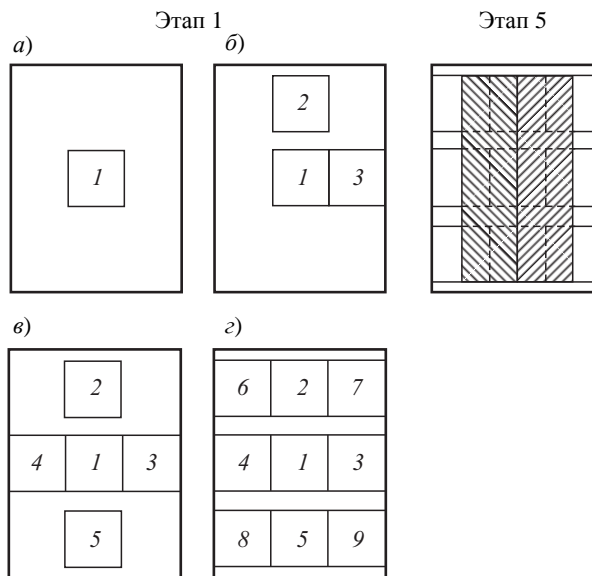


Рис. 1. Схемы облицовки пластины листами ВПП (этапы 1 и 5)

Fig. 1. Layout of plate tiling with anti-vibration coating tiles (Stages 1 and 5)

цесс в диссипативном слое ВПП – по сути, на основной физической фактор, определяющий потери колебательной энергии в ВПП и его эффективность. Действительно, интенсивные (далее – условно резонансные) колебания единого листа ВПП с большими размерами возникают на существенно более низких частотах, чем в листах ВПП с малыми размерами.

Влияние резонансных явлений в армирующем слое ВПП на его эффективность косвенно подтвер-

Средняя по точкам измерения эффективность ВПП

Efficiency of anti-vibration coating averaged by measurement points

Схема облицовки	f , Гц							
	40–48	88	112	152	176	208	280	376
1а	5	–	8	5	10	10	17	14
1б	10	4	14	9	14	15	21	18
1в	14	4	17	15	17	19	23	19
1г	17	9	20	18	20	24	27	23
Облицовка единым листом [2]	30	27	23	20	20	27	28	25
Облицовка тремя листами $1,0 \times 0,24$ м	14	16	25	–	25	27	23	27

дили и результаты последующих исследований. Их целью являлось дальнейшее снижение уровней вибрации испытываемой пластины при использовании листов ВПП как с указанными, так и с большими размерами.

Измерения входной вибровозбудимости ВПП были выполнены при следующих вариантах усложнения схемы рис. 1э:

- листы ВПП облицовывались такими же по размерам в плане листами ВПП (далее – более тонкие листы) с толщинами армирующего и диссипативного слоев $0,12 \times 10^{-3}$ и $0,6 \times 10^{-3}$ м соответственно (этап 2, пластина облицована 18 листами ВПП);
- 9 более тонких листов ВПП наносились на необлицованную поверхность пластины (этап 3, на пластине 27 листов ВПП); в листах над точками измерения здесь и далее выполнялись квадратные отверстия со стороной 3×10^{-2} м;
- на более тонкие листы ВПП дополнительно наносился второй слой ВПП с такой же толщиной (этап 4, на каждой стороне пластины 18 листов ВПП);
- покрытие на каждой стороне пластины дополнительно облицовывалось двумя более тонкими листами ВПП с размерами в плане $0,92 \times 0,24$ м (этап 5, на каждой стороне пластины 20 листов ВПП, см. рис. 1).

Относительная масса покрытия на этапах 1 (рис. 1э), 2–5 составляла примерно 13, 17, 21, 25 и 31 % от массы пластины.

На рис. 2 приведены частотные зависимости коэффициента потерь η колебательной энергии в пластине на разных (2–5) этапах ее облицовки ВПП. Пунктирной линией на рисунке изображена

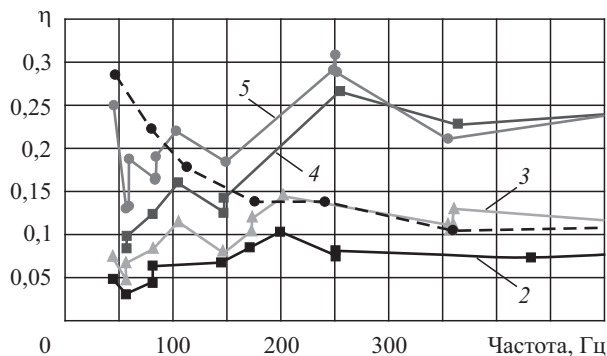


Рис. 2. Частотные характеристики коэффициента потерь на разных этапах испытаний

Fig. 2. Frequency parameters of loss coefficient at different stages of tests

приведенная в работе [2] частотная зависимость η при нанесении на одну из сторон пластины единого листа ВПП с такой же толщиной армирующего слоя, как у листов ВПП, установленных на первом этапе испытаний (рис. 1э).

Обращаясь к рисунку, видим, что поэтапная облицовка пластины листами ВПП с размером в плане $0,24 \times 0,24$ м приводит к последовательному увеличению значений η . При этом рост потерь колебательной энергии на частотах $f > 200$ Гц значительно превосходит его увеличение на более низких частотах. Так, при двухслойной схеме нанесения всех установленных на пластину листов ВПП с указанными размерами (этап 4) значения η в высокочастотном диапазоне мало отличаются от $\eta \approx 0,25$. При той же схеме облицовки пластины покрытием среднее значение η на более низких частотах равняется $\sim 0,12$. Наименьшие потери колебательной энергии в пластине при этой схеме ее облицовки ВПП имеют место на двух низших резонансных частотах ее изгибных колебаний.

Для увеличения потерь колебательной энергии на этих частотах пластина была облицована четырьмя более крупными ($0,92 \times 0,24$ м) листами ВПП (этап 5). Установка этих листов привела к заметному увеличению коэффициента потерь в диапазоне низших резонансных частот и мало повлияла на его значения на более высоких частотах.

Из рис. 2 также видно, что на низких частотах значения η при схеме облицовки на этапе 5 мало отличаются от значений, зарегистрированных при облицовке одной из сторон пластины листом ВПП с такими же, как она, размерами в плане. В обоих случаях повышенная эффективность ВПП на низких частотах была достигнута за счет облицовки пластины крупногабаритными листами ВПП с наибольшим размером, равным наибольшему размеру демпфируемой пластины или мало отличающимся от него. Именно при таких размерах ВПП в тонком армирующем слое возникают низкочастотные колебательные процессы с существенно меньшими длинами волн, чем в пластине. Это приводит к расфазировке колебаний пластины и армирующего слоя и, как следствие, к интенсификации колебательных процессов и увеличению потерь энергии в диссипативном слое. В малогабаритных листах ВПП резонансные явления на низших резонансных частотах изгибных колебаний демпфируемой пластины не возникают, и материал диссипативного слоя ВПП приводится в движение только колебаниями пластины.

Армирующий слой в таких листах ВПП «повторяет» на низших резонансных частотах пластины колебания тех ее участков, на которых они установлены, без противофазного, по сравнению с пластиной, воздействия на диссипативный слой. Эффект вибропоглощения на данных частотах при облицовке пластины малогабаритными листами ВПП оказывается незначительным.

Условно резонансные колебания в металлических листах ВПП с размером в плане 0,24×0,24 м возникают на более высоких частотах, и эффект на этих частотах от их нанесения оказывается большим, чем на низких частотах.

При совместном использовании листов ВПП с неодинаковыми размерами в плане (этап 5), а следовательно, и с разными значениями низших резонансных частот их колебаний, достигнута наибольшая эффективность ВПП во всем частотном диапазоне.

На основании полученных результатов могут быть сделаны следующие выводы.

1. Повышение эффективности тонкого армированного ВПП на основе полимерной пленки при его нанесении на пластину малогабаритными листами достигается путем увеличения площади облицовки и числа слоев покрытия.
2. В диапазоне нескольких низших резонансных частот изгибных колебаний демпфируемой пластины эффективность облицовки ее поверхности единым листом тонкого армированного ВПП больше эффективности при его нанесении малогабаритными, не связанными друг с другом листами.
3. Для уменьшения уровней вибрации в диапазоне низших и более высоких резонансных частот изгибных колебаний пластины следует применять комбинированную схему ВПП с закреплением на ее поверхности малогабаритных листов, облицованных листами (полосами), длина которых соизмерима с наибольшим размером пластины.
4. Наличие механических соединений пластины с армирующим слоем ВПП не приводит к заметному изменению эффективности ВПП.

В заключение отметим, что армированные ВПП на основе полимерной пленки при достаточно высокой эффективности имеют малую толщину и небольшую массу, а главное, могут быть установлены для снижения вибрации «проблемных конструкций» судна после его постройки.

Библиографический список

References

1. *Никифоров А.С.* Вибропоглощение на судах. Л.: Судостроение, 1979. [A. Nikiforov. Vibration damping aboard ships. Leningrad: Sudostroyeniye, 1979. (in Russian)].
2. *Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И.* Уменьшение вибрации конструкцией тонкими армированными покрытиями на основе полимерной ВПС пленки // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации». СПб., 2017. С. 382–389. [V. Kirpichnikov, A. Syatkovsky. Structural vibration mitigation by thin reinforced coatings based on VPS polymeric tape // Materials of the VIth All-Russian Scientific & Practical Conference with international participation Protection from high noise and vibration. St. Petersburg, 2017. P. 382–389. (in Russian)].

Сведения об авторах

Кирпичников Валерий Юлианович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Коцеев Алексей Петрович, начальник стенда ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Смольников Василий Юрьевич, ведущий инженер ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (812) 415-45-47. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Сятковский Александр Иорданович, к.т.н., директор по науке ОАО «Пластполимер». Адрес: 195197, Россия, г. Санкт-Петербург, Полустровский пр-т, 32. Тел.: +7 (812) 540-89-90. E-mail: nauka@plastpolymer.com.

About the authors

Kirpichnikov, Valery Yu., D. Sc., Prof., Chief Researcher, KSRC. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Koscheev, Alexey P., Test Rig Manager, KSRC. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.



Smolnikov, Vasily Yu., Lead Engineer, KSRC. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-45-47. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Syatkovsky, Alexander I., Cand. Tech. Sc., Director on Science, JSC Plastpolymer. Address: 32, Polyustrovsky Prospekt, St. Petersburg, Russia, post code 195197. Tel.: 8 (812) 540-89-90. E-mail: nauka@plastpolymer.com.

Поступила / Received: 15.01.18
Принята в печать / Accepted: 31.05.18
© Коллектив авторов, 2018