

УДК: 628.517.4. 699.842  
OECD: 2.03 PU

## Эффективность супертонкого слоя полимерной пленки, включенного в структуру пластины из НРЛ-пластика на различных расстояниях от свободных поверхностей

Кирпичников В.Ю.<sup>1</sup>, Смольников В.Ю.<sup>2</sup>, Скобля Е.С.<sup>3</sup>, Сятковский А.И.<sup>4</sup>,  
Олейников А.Ю.<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Д.т.н., профессор, <sup>2</sup> Инженер 1-ой категории,

<sup>3</sup> Научный сотрудник, <sup>4</sup> К.х.н., директор по науке, <sup>5</sup> К.т.н., доцент,

<sup>2</sup> ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, РФ

<sup>3,4</sup> ОАО «Пластполимер», Санкт-Петербург, РФ

<sup>1,5</sup> Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

Объектом исследования является пластина из НРЛ-пластика. Определение эффективности слоя полимерной пленки, включенного в структуру пластины на одинаковом и разных расстояниях от свободных поверхностей, было выбрано в качестве цели данной работы. Для определения коэффициента потерь проводилось измерение спектров вибрации пластины при отсутствии и наличии слоя пленки в ее структуре. Возбуждение пластины реализовывалось с использованием ударного молотка. Установлена принципиальная возможность уменьшения вибрации пластины из НРЛ-пластика включением в ее структуру тонкого слоя пленки. Показано, что уменьшение вибрации пластины мало зависит от места расположения пленки относительно ее свободных поверхностей. Подтверждена возможность использования супертонкого слоя (0,1 мм) полимерной пленки для производства модифицированных материалов, которые могут быть использованы для изготовления облегченных инженерных конструкций с лучшими, чем у металлических конструкций, акустическими свойствами.

**Ключевые слова:** пластина из НРЛ-пластика, слой полимерной пленки, уменьшение вибрации пластины, вибрация, шумоизлучение, коэффициент потерь, вибропоглощающее покрытие, эффективность вибропоглощения.

### *The effectiveness of a super-thin layer of a polymer layer, incorporated into the structure of an HPL plastic plate at various distances from free surfaces*

Kirpichnikov V.Yu.<sup>1</sup>, Smolnikov V.Yu.<sup>2</sup>, Skoblya E.S.<sup>3</sup>, Syatkovsky A.I.<sup>4</sup>, Oleynikov A.Yu.<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> DSc, Professor, <sup>2</sup> Engineer 1st category,

<sup>3</sup> Researcher, <sup>4</sup> Ph.D., Director of Science, <sup>5</sup> Ph.D, associate professor,

<sup>2</sup> Federal State Unitary Enterprise 'Krylov State Scientific Center', St. Petersburg, Russia

<sup>3,4</sup> JSC 'Plastpolymer', St. Petersburg, Russia

<sup>1,5</sup> Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia

### Abstract

The object of the study is a plate made of HPL plastic. The purpose of this work was to determine the effectiveness of the polymer layer incorporated into the plate structure at the same and different distances from free surfaces. To determine the loss coefficient, the vibration spectra of the plate were measured in the absence and presence of the polymer layer in its structure. The excitation of the plate was realized using an

impact hammer. The principal possibility of reducing the vibration of an HPL plastic plate by including a thin layer of an polymer layer in its structure has been established. It is shown that the reduction of vibration of the plate does not depend much on the location of the polymer layer relative to its free surfaces. The possibility of using a super-thin layer (0.1 mm) of polymer layer for the production of modified materials that can be used to manufacture lightweight engineering structures with better acoustic properties than metal structures has been confirmed.

**Keywords:** plate made of HPL plastic, polymer layer, reduction of plate vibration, vibration, noise emission, loss coefficient, vibration-absorbing coating, vibration absorption efficiency.

## Введение

Неметаллические материалы и композиты при безусловном их удовлетворении необходимым требованиям прочности разрабатываются и находят все более широкое применение в технике.

Одним из конструкционных композитных материалов является «Слопласт ТГ», этот материал применяется для внутренней отделки жилых и производственных помещений, инженерных сооружений, а также для внутренних интерьеров транспортных средств. Этот материал является многослойным композитом, изготавливается из листов крафт-бумаги, пропитанных термореактивными смолами. При горячем прессовании получают однородный монолитный материал (бумажно-слоистый пластик HPL), его толщина от 0,6 до 25 мм, в зависимости от исходного количества слоев.

Одним из самых значимых требований к имеющимся и создаваемым композитам является наличие необходимых потерь колебательной энергии. Потери в пластиковых конструкциях на низких и средних звуковых частотах примерно соответствуют значениям коэффициента потерь  $\eta$  0,02–0,03. Известно, что различные металлические конструкции из-за оттока энергии в соединения и в окружающие среды имеют даже большие значения коэффициента потерь  $\eta$ . Таким образом, уменьшение уровней вибрации и шума при использовании вместо металлических конструкций пластиковых оказывается достаточно малым. Для достижения эффекта снижения порядка 6 дБ коэффициент  $\eta$  конструкции с улучшенными акустическими свойствами должен превышать значение  $\eta$  металлической конструкции не менее чем в три раза, т.е. не меньше 0,06.

## 1. Влияние супертонкого слоя полимерной пленки на коэффициент потерь пластины

Имея в виду все выше сказанное, задача повышения потерь колебательной энергии в пластиковых конструкциях является актуальной. Один из способов ее решения – это изменение материала пластика путем внедрения в его структуру слоев, изготовленных из полимерной пленки с большими значениями коэффициента  $\eta$  в диапазоне рабочих температур [1, 2]. Исследовалось, в частности, влияние количества (три, пять и семь) интегрированных слоев полимерной пленки с толщиной каждого 0,5 мм на потери колебательной энергии в модифицированных пластинах. Наибольшие значения  $\eta$  на низшей резонансной частоте колебаний зарегистрированы при испытаниях трехслойной пластины. Влияние меньшей толщины слоя пленки и места его расположения по толщине трехслойной пластины на потери колебательной энергии при этом не исследовалось. Вместе с тем можно предположить, что оба этих фактора такое влияние оказывают, а от первого из них непосредственно зависит и стоимость изготовления конструкций из

рассматриваемого модифицированного материала.

В обеих указанных работах исследования выполнялись с использованием полимерной пленки марки ВПС-2,5 с ранее указанной толщиной 0,5 мм.

Пленка ВПС-2,5 такой толщины, согласно ТУ-4515-001-00203521-93, является стандартной и успешно используется при вибродемпфировании массивных металлических составных конструкций и вибропоглощающих покрытий с металлическим армированным слоем [3]. Для вибродемпфирующих слоистых композитных материалов, содержащих интегрированные внутренние слои из вязкоупругих материалов такая толщина может быть неприемлема из-за существенного падения жесткости [4-7]: жесткость композита и его демпфирующая способность являются в значительной степени взаимоисключающими свойствами. Поэтому такого рода композиты используются для демпфирования слабонагруженных конструкций, а главной проблемой при их разработке является подбор полимерного материала, способного осуществлять эффективное вибродемпфирование в тонких слоях 0,1-0,05 мм. [6,7]. В работах [3,8] было показано, что пленка ВПС-2,5 толщиной 0,06-0,1 мм. обладает вибродемпфирующей способностью ( $\eta \geq 0,3$ ) в трехслойных симметричных конструкциях металл-полимер-металл с толщиной внешних армирующих слоев до 3мм. и отношением толщин вязкоупругий слой / армирующий слой равным 0,02.

## 2. Влияние расположения супертонкого слоя полимерной пленки ВПС-2.5 на коэффициент потерь пластины

Практическая важность получения ответа на другой вопрос, как влияет на величину потерь колебательной энергии в модифицированном материале место нахождения такого слоя по толщине изготовленной из него пластины обусловлена следующими физическими соображениями.

При симметричном (в середине пластины) расположении пленки слои пластины имеют одинаковую толщину, которая меньше толщины одного из слоев при несимметричном расположении пленки. Вибровозбудимость этого, более толстого, слоя меньше вибровозбудимости каждого из слоев при симметричном расположении пленки. С учетом этого при одинаковой эффективности пленки в обоих рассматриваемых вариантах ее несимметричное расположение может обеспечить меньшие уровни вибрации более толстого слоя в сравнении с соответствующими уровнями вибрации слоев при нахождении пленки в середине пластины. Однако в несимметричном модифицированном пластике более толстый слой и пленка нагружены меньшим по массе слоем пластика, что может негативно сказаться на вибровозбудимости более толстого слоя в связи с изменением колебательных процессов в пленке и ухудшении ее диссипативных свойств.

Меньший по толщине слой пластика в несимметрично модифицированном материале условно можно считать армирующим слоем вибропоглощающего покрытия (ВПП) с полимерной пленкой в качестве диссипативного слоя. Вместе с тем известно, что при установке армированного ВПП на пластину его эффективность при увеличении относительной массы более 30% повышается очень незначительно. Сделанный вывод косвенно свидетельствует о практической невозможности существенно снижать в широком диапазоне частот уровни вибрации и звукоизлучения демпфируемой пластины с большими потерями колебательной энергии смещением полимерной пленки в средний слой пластины. Возможно ли этого добиться путем модификации материала пластика?

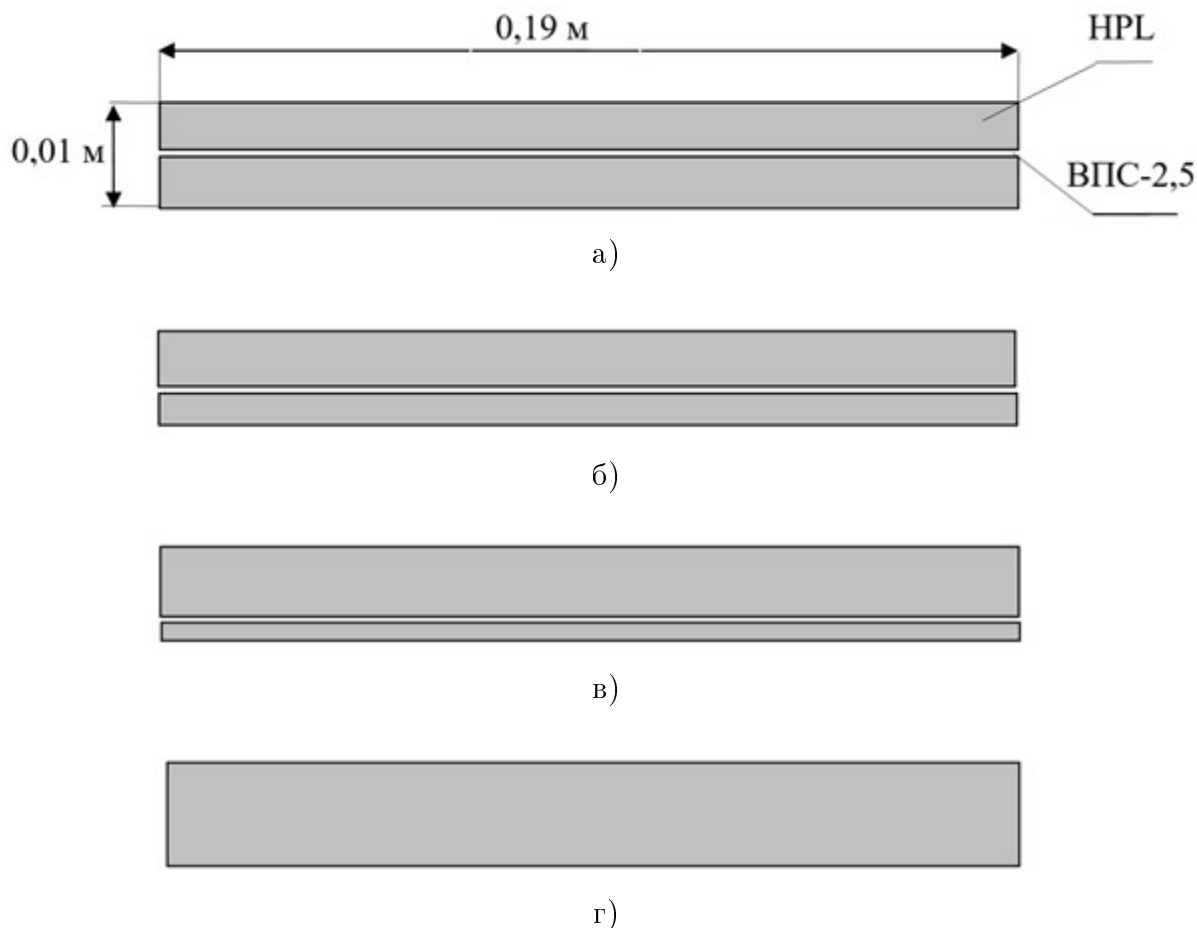
С учетом изложенного, основными целями описываемых далее испытаний являлись следующие:

- конкретизация потерь колебательной энергии в материале, модифицированном

полимерной пленкой, имеющей малую толщину;

– выявление места расположения полимерной пленки ВПС-2,5 по толщине материала, при котором пленка обеспечивает наибольшие потери колебательной энергии;

– определение зависимости эффекта включения слоя пленки ВПС-2,5 от места его расположения относительно свободных поверхностей материала.



а) – пластина №1, б) – пластина №2, в) – пластина №3, г) – пластина №4

Рис. 1. Поперечное сечение испытанных пластин

Исследования проводились на четырех образцах толщиной 10 мм, размер в плане 0,19×0,19 м (рис. 1). В образце № 1 толщина слоев пластика была одинаковой, средний слой – пленка ВПС-2,5 толщина 0,1 мм. В несимметричных образцах № 2 и 3, толщина тонкого слоя - 3 и 2 мм соответственно, толщина пленки также 0,1 мм. В материале образца № 4 полимерная пленка отсутствовала. Относительная масса условного ВПП на слое пластика в образцах № 1, 2 и 3 составляла примерно 50, 43 и 25%.

Испытания образцов проводились в условиях воздушной среды лаборатории. Образцы подвешивались за соседние углы с помощью нити, образцы располагались вертикально.

Измерялась входная вибровозбудимость образцов, удары выполнялись вибромолотком, оснащенным датчиком силы  $F$ , Н. Одна точка ударов находилась в геометрическом центре (ГЦ) образцов, а две другие на одинаковом расстоянии от ГЦ и кромки, а также от ГЦ и одного из углов. Образцы № 2 и № 3 (не симметрия) возбуждались вибромолотком по толстому слою пластика. Под входной вибровозбудимостью нами

понимается величина  $A/F = 20 \lg(AF_0/a_0F)$ , дБ, где  $A$  – виброускорение,  $\text{м/с}^2$ , в точке приложения силы  $F$ , Н;  $a_0$  – пороговый уровень,  $10^{-6}$   $\text{м/с}^2$ , виброускорения;  $F_0 = 1$  Н.

Анализ полученной при испытаниях информации показал, что уровни резонансных максимумов в спектрах входной вибровозбудимости образцов № 1–3 с модифицированным материалом пластика в каждой точке измерения значительно (до 12 дБ) меньше уровней соответствующих максимумов в спектрах входной вибровозбудимости, измеренной в аналогичных точках образца № 4. На рис. 2 приведены типичные узкополосные ( $\Delta f = 1$  Гц) частотные спектры входной вибровозбудимости образцов № 1 и № 4, измеренной в их геометрическом центре.

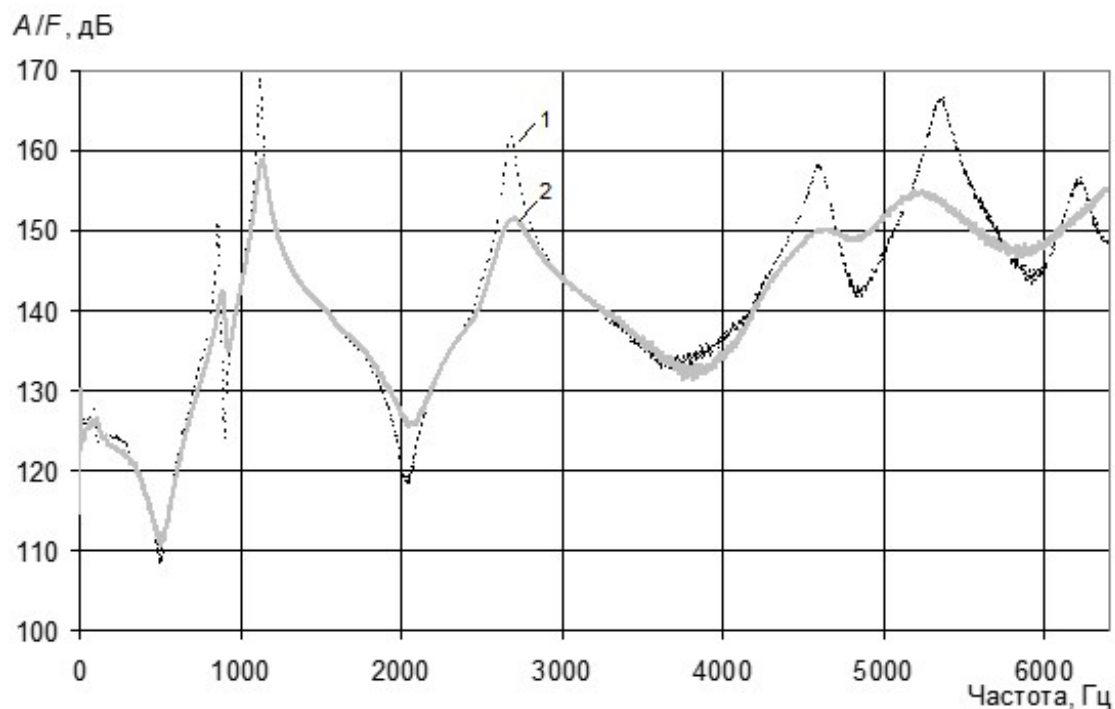


Рис. 2. Спектры входной вибровозбудимости пластин № 4 (1) и № 1 (2)

Обращаясь к рис. 2, видим, что включение пленки в материал образца № 1 привело к уменьшению уровней его наиболее выраженных резонансных максимумов входной вибровозбудимости в сравнении с уровнями соответствующих максимумов в спектре  $A/F$  образца № 4 в среднем по резонансным частотам на величину примерно 10 дБ. Примерно такая же эффективность пленки ВПС-2,5 была зарегистрирована при измерениях в двух других точках. Мало отличающиеся величины усредненной по резонансным частотам и точкам измерения эффективности ( $\mathcal{E}$ , дБ) модификации материала образцов № 2 и № 3 составили около 7 дБ.

Численные величины коэффициента потерь колебательной энергии определялись расчетным путем по форме трех резонансных максимумов в измеренных спектрах  $A/F$ , имеющих наибольшие уровни. Средние по соответствующим частотам значения коэффициента потерь  $\eta$  образцов № 1, 2 и 3 оказались равными 0,071; 0,055 и 0,048. Они превысили среднюю величину  $\eta$  образца № 4 с немодифицированным материалом (0,021) пластика в 3,4; 2,6 и 2,3 раза.

## Заключение

Был сделан вывод, что наилучшим для достижения наибольших потерь колебательной энергии местом нахождения слоя полимерной пленки в пластике является его симметричное расположение относительно свободных поверхностей пластины. Однако различие вибрационных свойств испытанных образцов с модифицированным пластиком невелико.

Отметим, что приведенные величины  $\mathcal{E}$ , дБ, и  $\eta$  много меньше соответствующих величин эффективности включения в пластик пленки ВПС-2,5 из того же материала толщиной 0,5 мм и значений коэффициента потерь колебательной энергии в изготовленных из него образцах с похожими геометрическими размерами [1]. Однако значения коэффициента потерь  $\eta$  в пластинах из модифицированного пластика с пленкой ВПС-2,5 толщиной 0,1 мм в среднем в 3 раза больше значений  $\eta$  в металлических конструкциях. Поэтому испытанный модифицированный материал может быть использован для изготовления облегченных инженерных конструкций с лучшими, чем у металлических конструкций, акустическими свойствами.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии изготовления пластика с улучшенными акустическими свойствами, допускающей, в частности, включение в структуру пластика супертонкого слоя пленки ВПС-2,5 и его произвольное расположение в структуре.

## Список литературы

1. Кирпичников В.Ю., Смольников В.Ю., Кудаев А.В., Гусева Е.В., Сятковский А.И. Экспериментальные исследования вибродемпфирующих свойств композитных материалов на основе слоистых пластиков HPL, содержащих встроенные слои из термопластичных пленок ВПС-2,5 // *Noise Theory and Practik.* - 2022. - N 8(4). - С. 40-48.
2. Кирпичников В.Ю., Смольников В.Ю., Скобля Е.С., Сятковский А.И. Экспериментальные исследования способов улучшения акустических свойств пластины из HPL пластика // *Прикладная механика и теоретическая физика.* - 2023. - N 4. - С. 178-183.
3. Сятковский А.И. Термопластичные пленочные материалы для демпфирования инженерных конструкций. // *Пластические массы*, 2023, №9-10, стр.48-52.
4. M.M.Ameena, P.R.Reshmi. Analysis of the effect of thickness of constrained layer in sandwich panel // *IRJET*, 2016, Vol.3, № 8, P.2227-2229.
5. Pravin P.Hujare, Anil D. Sahasrabudhe. Effect of Thickness of Damping Material on Vibration Control of Structural Vibration in Constrained Layer Damping Treatment./ *Applied Mechanics and Materials Vols.* 592-594 (2014) pp 2031-2035.
6. Antonio Paonessa. VIBRATION AND DAMPING OF COMPOSITE STRUCTURES. Wiley Encyclopedia of Composites, Second Edition. Edited by Luigi Nicolais and Assunta Borzacchiello. © 2012 John Wiley & Sons, Inc. Published 2012 by John Wiley & Sons, Inc.
7. Ronald F. Gibson, Yu Chen, Hui Zhao . Improvement of Vibration Damping Capacity and Fracture Toughness in Composite Laminates by the Use of Polymeric Interleaves./ *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2001, Vol. 123, p. 309-314.

8. Сятковский А.И., Рюткянен Е.А., Кудаев А.В., Демпфирование в трехслойных конструкциях металл-полимер-металл с термопластичной пленкой из поливинилацетата.// Noise Theory and Practice, 2022 , т.8 , №2 , P.24-34.

### References

1. Kirpichnikov V.Yu., Smolnikov V.Yu., Kudaev A.V., Guseva E.V., Syatkovsky A.I. Experimental studies of vibration damping properties of composite materials based on laminated HPL plastics containing embedded layers of thermoplastic films VPS-2,5 // Noise Theory and Practice. - 2022. - Vol. 8, no. 4, pp.40-48.

2. Kirpichnikov V.Yu., Smolnikov V.Yu., Skoblya E.S., Syatkovsky A.I. Experimental studies of ways to improve the acoustic properties of a plate made of HPL plastic // Applied mechanics and theoretical physics. 2023. No. 4. pp. 178-183.

3. Syatkovsky A.I. Thermoplastic film materials for damping engineering structures.// Plastic masses, 2023, No.9-10 , pp.48-52.

4. M.M.Ameena, P.R.Reshmi. Analysis of the effect of thickness of constrained layer in sandwich panel, IRJET, 2016, Vol.3, № 8, P.2227-2229.

5. Pravin P.Hujare, Anil D. Sahasrabudhe. Effect of Thickness of Damping Material on Vibration Control of Structural Vibration in Constrained Layer Damping Treatment./ Applied Mechanics and Materials Vols. 592-594 (2014) pp 2031-2035.

6. Antonio Paonessa. VIBRATION AND DAMPING OF COMPOSITE STRUCTURES. Wiley Encyclopedia of Composites, Second Edition. Edited by Luigi Nicolais and Assunta Borzacchiello. © 2012 John Wiley & Sons, Inc. Published 2012 by John Wiley & Sons, Inc.

7. Ronald F. Gibson, Yu Chen, Hui Zhao. Improvement of Vibration Damping Capacity and Fracture Toughness in Composite Laminates by the Use of Polymeric Interleaves./ Journal of Engineering Materials and Technology , 2001, Vol. 123, p. 309-314.

8. Syatkovsky A.I., Ryutkyanen E.A., Kudaev A.V., Damping in three-layer metal-polymer-metal structures with a thermoplastic film made of polyvinyl acetate.// Noise Theory and Practice, 2022, vol.8, No.2, pp.24-34.