

УДК: 691.58

OECD: 2.05 QH

DOI: 10.56408/2412-8627.2026.12.2.003

Слоистые вибропоглощающие материалы

Черкасов В.Д.¹, Тюрязкин М.А.^{2*}¹Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», ²Аспирант^{1,2}ФГБУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, РФ

Аннотация

Для борьбы с вибрацией используют вибропоглощающие покрытия и конструкционные вибропоглощающие материалы. К конструкционным вибропоглощающим материалам относят слоистые вибропоглощающие материалы. Они обладают рядом преимуществ: высокие внутренние потери и возможность изготовления из них различных конструкций. Важным элементом для таких конструкций является промежуточный слой. В связи с этим был разработан вязкоупругий материал с высокими потерями ($\eta = 0,8$), имеющий адгезионную прочность к стали 0,19 МПа, к дюралюминию 0,2 МПа, температурный диапазон работы материала $-40 \div 80$ °С. Целью работы является разработка слоистого вибропоглощающего материала с применением нового самоклеящегося вязкоупругого материала и исследование его вибропоглощающих свойств. Задачами исследований являлись установление соотношения толщин слоев и исследование свойств. Показано, что при амплитуде колебаний 1 мм оптимальное соотношение толщин слоев $h_2/h_1 = 2$, а при амплитуде колебаний 2 мм оптимальное соотношение слоев $h_2/h_1 = 4$. Коэффициент потерь этих материалов соответственно равен 0,41 и 0,95.

Ключевые слова: наружный слой, промежуточный слой, слоистый материал, конструкция, вибропоглощающие свойства

Layered vibration-absorbing materials

Cherkasov V.D.¹, Tyuryakin M.A.^{2*}¹ D.Sc., Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, ² Ph.D. student^{1,2} Federal State Budgetary Institution of Higher Education 'National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev', Saransk, Russia

Abstract

Vibration-absorbing coatings and structural vibration-absorbing materials are used to combat vibration. Structural vibration-absorbing materials include layered vibration-absorbing materials. They offer several advantages, including high internal losses and the ability to be fabricated into various structures. An important element in such structures is the intermediate layer. Therefore, a high-loss viscoelastic material ($\eta = 0.8$) was developed. It has an adhesive strength of 0.19 MPa to steel and 0.2 MPa to duralumin, and a temperature range of 40 to 80 °C. The aim of this study was to develop a layered vibration-absorbing material using a new self-adhesive viscoelastic material and to investigate its vibration-absorbing properties. The objectives of the study were to determine the ratio of layer thicknesses and characterize the properties. It is shown that with an oscillation amplitude of 1 mm, the optimal ratio of layer thicknesses is $h_2/h_1 = 2$, and with an oscillation

*E-mail: max5554284@ya.ru (Тюрязкин М.А.)

amplitude of 2 mm, the optimal ratio of layers is $h_2/h_1 = 4$. The loss coefficient of these materials is equal to 0.41 and 0.95, respectively.

Keywords: outer layer, intermediate layer, laminated material, construction, vibration-absorbing properties

Введение

Большой интерес представляют трехслойные вибродемпфирующие материалы [1]-[8]. Такие материалы находят применение в различных конструкциях [3].

Важным элементом таких материалов является промежуточный слой [2], [3], [9]. В существующих слоистых вибропоглощающих материалах промежуточный слой изготавливают из битумной и поливинилацетатной мастик. Они имеют низкую адгезию к металлам и другим материалам [10]. Для устранения этого недостатка в них добавляют адгезионные добавки [2]. Однако это не решает указанную проблему. Существуют слоистые вибропоглощающие материалы с промежуточным слоем из стеклоткани и термопластика. Они крепятся к стальным листам с помощью эпоксидного клея. Это приводит к увеличению срока изготовления материала. Кроме этого, материалы с такими прослойками имеют низкий коэффициент потерь. В связи с этим разработан самоклеящийся вязкоупругий материал с адгезией к стали 0,19 МПа, к дюралюминию 0,2 МПа и имеющий коэффициент потерь 0,8. С применением этого материала сборка слоистых вибропоглощающих материалов производится значительно быстрее без использования различных приспособлений. С использованием этого вязкоупругого материала разработаны слоистые вибропоглощающие материалы.

В статье приведены результаты исследования вибропоглощающих свойств слоистых материалов.

1 Материалы и методы

Конструкция слоистого материала представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Слоистый материал: 1 – металлическая пластина толщиной 1 мм; 2 – промежуточный слой толщиной (1, 2, 3, 4, 5 мм)

Испытания проводились на образцах размером 250x20 мм. Толщина вязкоупругого слоя принималась 1, 2, 3, 4 и 5 мм. Образцы слоистого материала изготавливались следующим образом. На металлическую пластину укладывали ленту из вязкоупругого материала нужной толщины. Затем на вязкоупругий материал сверху укладывали вторую металлическую пластину. После этого материал прокатывали валиком для обеспечения хорошего сцепления металла с вязкоупругим слоем.

Коэффициент потерь определяли по методике, приведенной в [11]-[12].

Амплитуда колебаний корректировалась за счет изменений зазора между пластиной образца и датчиками (возбудителем колебаний и приемником сигнала) [11]-[13].

В качестве экспериментального оборудования использовалась резонансная установка с электромагнитными преобразователями для возбуждения и регулировки

частоты колебаний. Образец устанавливался на стенд в горизонтальном положении. Погрешность измерений составляла $\pm 0,1$ Гц. Испытания образцов проводились при температуре 20°C , влажность в помещении составляла 60 – 70 %.

2 Результаты и обсуждения

Конструкция слоистого материала характеризуется соотношением слоев. Соотношение толщин слоев определяется условиями работы материала. Показано, что при амплитуде колебаний 1 мм – $h_2/h_1 = 2$, а при амплитуде колебаний 2 мм – $h_2/h_1 = 4$, результаты приведены на рисунках 2 и 3.



Рисунок 2 – Коэффициент потерь слоистого материала (амплитуда колебаний 1 мм)



Рисунок 3 – Коэффициент потерь слоистого материала (амплитуда колебаний 2 мм)

Показано, что слоистые материалы более эффективно работают при больших вибрациях. Это вызвано тем, что возрастают сдвиговые деформации в промежуточном слое.

Проведены исследования влияния частоты колебаний на вибропоглощающие свойства слоистых материалов. Результаты представлены на рисунках 4 и 5.

Слоистые вибропоглощающие материалы с $h_2/h_1 = 2$ (амплитуда колебаний 1 мм) эффективно работают на частоте 160,7 Гц, а слоистые материалы с $h_2/h_1 = 4$ (амплитуда колебаний 2 мм) на частоте 430,6 Гц.

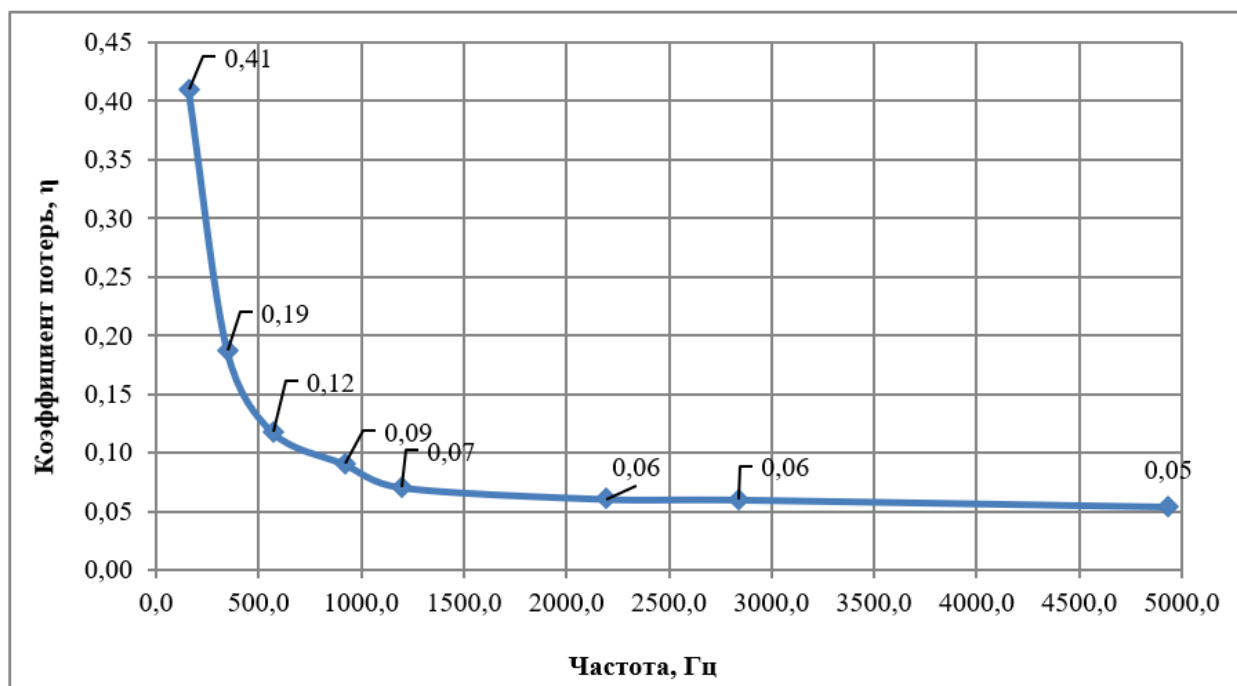


Рисунок 4 – Коэффициент потерь слоистого материала на различных частотах (амплитуда колебаний 1 мм, $h_2/h_1 = 2$)

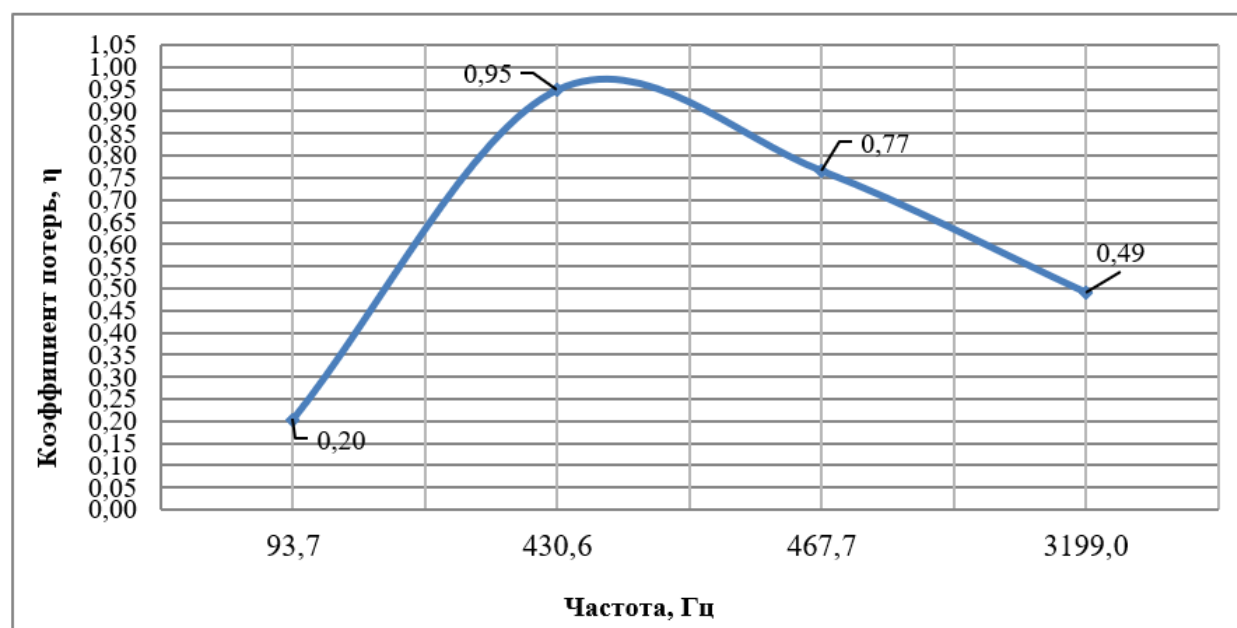


Рисунок 5 – Коэффициент потерь слоистого материала на различных частотах (амплитуда колебаний 2 мм, $h_2/h_1 = 4$)

Заключение

Разработаны новые слоистые вибропоглощающие материалы, которые, благодаря самоклеящемуся вязкоупругому слою, собираются без применения специального оборудования. Установлено, что при амплитуде колебаний 1 мм оптимальное соотношение толщин слоев $h_2/h_1 = 2$ (коэффициент потерь $\eta = 0,41$, на частоте 160,7 Гц) и при амплитуде колебаний 2 мм оптимальное соотношение слоев $h_2/h_1 = 4$ (коэффициент потерь $\eta = 0,95$, на частоте 430,6 Гц).

Рекомендуется использовать данные материалы в конструкциях транспортных средств, промышленного оборудования, а также в звукоизолирующих корпусах.

В перспективе предполагается создание слоистых материалов с наружными слоями из полимерных и других материалов.

Список использованных источников

1. В.А. Гуляев, Н.И. Наумкина, М.И. Палей Конструкционные слоеные материалы с высокими потерями – М.: Наука, 1973. – С. 212–218.
2. В.Д. Черкасов, А.С. Смиркин, А.В. Бородин. Вибропоглощающие свойства слоеных материалов. – 2020. – №1 (42). – С. 45–51.
3. Khorasani, R. & Kordkheili, S. & Parviz, Hadi. (2021). An analytical and experimental study on dampening material effects on the dynamic behavior of free-free aluminum sheets. *Engineering Solid Mechanics*. 9. 111-122. 10.5267/j.esm.2021.1.002.
4. Huang, Zhi Cheng & Pan, Jinbo & Yang, Ziheng & Wang, Xingguo & Chu, Fulei. ransverse Vibration of Viscoelastic Sandwich Structures: Finite Element Modeling and Experimental Study. *Materials*. 14. 7751., 2021. DOI: 10.3390/ma14247751.
5. Li, Hao & Hu, Yabin & Chen, Jianlin & Shou, Dahua & li, Bing. (2022). Lightweight meta-lattice sandwich panels for remarkable vibration mitigation: Analytical prediction, numerical analysis and experimental validations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 163. 107218. 10.1016/j.compositesa.2022.107218.
6. Тонкие пластинчатые сэндвич-конструкции с большим вибропоглощением / А. И. Сятковский, В. Ю. Кирпичников, В. Ю. Смольников, П. А. Упоров // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 4(43). – С. 38-47. – EDN CFBHGE.
7. Кирпичников, В. Ю. Об эффективности вибропоглощающих покрытий / В. Ю. Кирпичников, И. О. Малинин, А. Ю. Олейников // *Noise Theory and Practice*. – 2024. – Т. 10, № 2(37). – С. 29-43. – EDN KMVIWP.
8. Сятковский, А. И. Влияние вязкоупругого полимерного слоя на эффективность диссипации энергии в трехслойных композитах металл-полимер-металл / А. И. Сятковский, И. Д. Симонов-Емельянов, В. Ю. Кирпичников // *Пластические массы*. – 2025. – № 3. – С. 15-17. – DOI 10.35164/0554-2901-2025-03-15-17. – EDN LSCJHD.
9. RU патент N 2 775 548 C2, от 15.09.2020 г. полиуретановый эластомерный материал для вибропоглощающих палубных покрытий / Н.М. Лисенков, П.А. Кузьменко, Ю.Н. Попов, А.В. Крылов, Ю.В. Евстратова; заявитель, патентобладатель ФГУП «Крыловский государственный научный центр». - 7 с.
10. Сагомонова, В. А. Влияние состава вибропоглощающих материалов на коэффициент механических потерь / В. А. Сагомонова, В. И. Кислякова, В. А. Большаков // *Функциональные материалы для снижения авиационного шума в салоне и на местности: Сборник докладов конференции, Москва, 12 марта 2015 года / ФГУП ВИАМ. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, 2015. – С. 6. – EDN UURUOX.*
11. Авдонин, В. В. Вибропоглощающие композиционные покрытия: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Авдонин Валерий Викторович, 2015. – 123 с. – EDN MTCAA1.
12. Черкасов, В. Д. Исследование влияния наполнителей и модификаторов на демпфирующие свойства материала на основе ПВА / В. Д. Черкасов, М. В. Тюрин, В. В. Авдонин // *Инженерный вестник Дона*. – 2019. – № 8(59). – С. 36. – EDN ZMWROG.

13. Масеев, Д. В. Вибропоглощающие строительные композиты / Д. В. Масеев // Оригинальные исследования. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 108-117. – EDN OKSHCB.

References

1. V. A. Gulyaev, N. I. Naumkina, M. I. Paley. Structural Layered Materials with High Losses. Moscow: Nauka, 1973. pp. 212–218.
2. V. D. Cherkasov, A. S. Smirkin, A. V. Borodin. Vibration-Absorbing Properties of Layered Materials. No. 1 (42) (2020). pp. 45–51.
3. Khorasani, R. & Kordkheili, S. & Parviz, Hadi. (2021). An analytical and experimental study on dampening material effects on the dynamic behavior of free-free aluminum sheets. *Engineering Solid Mechanics*. 9. 111-122. 10.5267/j.esm.2021.1.002.
4. Huang, Zhi Cheng & Pan, Jinbo & Yang, Ziheng & Wang, Xingguo & Chu, Fulei. Transverse Vibration of Viscoelastic Sandwich Structures: Finite Element Modeling and Experimental Study. *Materials*. 14, 7751, 2021. DOI: 10.3390/ma14247751.
5. Li, Hao & Hu, Yabin & Chen, Jianlin & Shou, Dahua & li, Bing. (2022). Lightweight meta-lattice sandwich panels for remarkable vibration mitigation: Analytical prediction, numerical analysis and experimental validations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 163. 107218. 10.1016/j.compositesa.2022.107218.
6. Thin plate sandwich structures with high vibration absorption / A. I. Syatkovsky, V. Yu. Kirpichnikov, V. Yu. Smolnikov, P. A. Uporov // *Noise Theory and Practice*. - 2025. - Vol. 11, No. 4 (43). - P. 38-47. - EDN CFBHGE.
7. Kirpichnikov, V. Yu. On the efficiency of vibration-absorbing coatings / V. Yu. Kirpichnikov, I. O. Malinin, A. Yu. Oleynikov // *Noise Theory and Practice*. - 2024. - Vol. 10, No. 2 (37). - P. 29-43. - EDN KMVIWP.
8. Syatkovsky, A. I. Influence of viscoelastic polymer layer on the efficiency of energy dissipation in three-layer metal-polymer-metal composites / A. I. Syatkovsky, I. D. Simonov-Emelyanov, V. Yu. Kirpichnikov // *Plastics*. - 2025. - No. 3. - P. 15-17. - DOI 10.35164/0554-2901-2025-03-15-17. - EDN LSCJHD.
9. RU Patent No. 2 775 548 C2, dated September 15, 2020. Polyurethane elastomer material for vibration-absorbing deck coverings / N.M. Lisenkov, P.A. Kuzmenko, Yu.N. Popov, A.V. Krylov, Yu.V. Evstratova; applicant, patent holder FSUE Krylov State Research Center. - 7 p.
10. V.A. Samogonova, V.I. Kislyakova, T.Yu. Tyumeneva, V.A. Bolshakova. Effect of the composition of vibration-absorbing materials on the mechanical loss coefficient. *Proceedings of VIAM*. - 2015. - No. 10-10.
11. Avdonin, V. V. Vibration-Absorbing Composite Coatings: Specialty 05.23.05 "Building Materials and Products": Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences / Avdonin, Valery Viktorovich, 2015. – 123 p. – EDN MTCAAI.
12. Cherkasov, V. D. Study of the Influence of Fillers and Modifiers on the Damping Properties of PVA-Based Material / V. D. Cherkasov, M. V. Tyurin, V. V. Avdonin // *Engineering Bulletin of the Don*. – 2019. – No. 8 (59). – P. 36. – EDN ZMWROG.
13. Maseev, D. V. Vibration-absorbing building composites / D. V. Maseev // *Original research*. - 2025. - Vol. 15, No. 2. - P. 108-117. - EDN OKSHCB.