

Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий

*Д.т.н., профессор В.Д. Черкасов;
к.т.н., доцент Ю.В. Юркин;
преподаватель В.В. Авдонин,*

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по подбору состава битумно-каучукового вяжущего вибропоглощающего покрытия. Применение вибропоглощающих покрытий тонкостенных строительных конструкций позволяет значительно снизить негативные вибрации.

Существующие битумные и битумно-каучуковые материалы обладают недостаточным вибропоглощением в диапазоне отрицательных температур, что недопустимо в климатических условиях России. Подбор состава битумно-каучукового вяжущего и установление зависимости его свойств позволят получить материал с широким температурным диапазоном применения.

В качестве объекта исследования была выбрана полимерная матрица, представляющая собой смесь двух материалов – бутилкаучука и битума, пластифицированную маслом индустриальным И-20А; наполнитель – мел марки МТД-2. Представлена зависимость физико-механических свойств материала от содержания битум:бутилкаучук в смеси. Установлено, что материал на основе полученного вяжущего обладает эффективным вибродемпфированием в диапазоне температур от -40 до $+40$ °С.

Ключевые слова: вибропоглощающее покрытие; битум; каучук; физико-механические свойства; температура

Уже более 20 лет в авто-, машиностроении и строительстве широко применяются вибропоглощающие материалы листового типа на основе битума [1, 2]. В настоящее время широко распространены покрытия на битумно-каучуковом вяжущем [3, 4].

Способность материала при колебании упругой системы необратимо поглощать часть энергии циклических деформаций (обычно преобразовывая во внутреннюю тепловую энергию) называется демпфированием, или внутренним трением [5, 6], благодаря которому происходит быстрое затухание свободных колебаний конструкций [7]. Вследствие этого внутреннее трение является одной из важнейших динамических характеристик материала и конструкции [8]. Полимеры, благодаря их вязкоупругому поведению, положительно выделяются из числа прочих материалов способностью к эффективному вибродемпфированию.

Вибродемпфирующие свойства полимеров и композиций на их основе сильно зависят от внешних факторов, наиболее важный из которых – температура [9, 10]. На графике зависимости коэффициента потерь и модуля упругости от температуры [11, с. 107] выделяют четыре области, соответствующие четырем состояниям полимера или полимерной основы композита. Наибольшими вибропоглощающими свойствами полимер обладает во втором (переходном) состоянии, соответствующем T_c на температурной шкале. В данной области полимер характеризуется резким уменьшением модуля упругости с ростом температуры, наблюдается наибольший максимум механических потерь. Это связано с тем, что именно в этот период времени в материале возникает потребность во внешней энергии, которая расходуется на размораживание еще неподвижных сегментов. Следовательно, приложенная внешняя нагрузка интенсивнее поглощается [5].

Очевидно, что для увеличения области высокоэффективного вибропоглощения покрытий необходимо расширить температурный диапазон, в котором будут обнаруживаться явления переходного состояния полимерного слоя.

В результате исследований, проведенных А. Нашифом [11], Б.К. Накра [12, 13] и другими учеными, установлено, что использование демпфирующих материалов, включающих в себя слои с различными полимерными материалами, расширяет температурный диапазон их применения, а использование слоистых структур увеличивает эффективность вибропоглощения [14].

Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий

В работе Л. Ку с соавторами [15] изучается влияние соотношения фенольной смолы и хлорбутилкаучука в матрице композита на его вибропоглощающие свойства. В результате проведенных исследований установлено, что даже после вулканизации звенья фенольной смолы остаются линейно диспергированными в объеме каучука. Первое пиковое значение тангенса угла механических потерь соответствует температуре стеклования хлорбутилкаучука в смеси. При увеличении содержания смолы количество возможных конформаций молекул хлорбутилкаучука уменьшается, а количество энергии, необходимой для размораживания сегментов, увеличивается, в результате уменьшаются вибропоглощающие свойства и увеличивается T_c . Увеличение содержания смолы в смеси расширяет температурный диапазон эффективной работы материала за счет сдвига второго пикового значения вправо.

Важное влияние на физико-механические свойства композита оказывает количество наполнителя [16], в зависимости от содержания которого полимерные композиционные материалы подразделяются на малонаполненные (0–35%) и высоконаполненные (более 35%) [17]. В малонаполненных материалах частицы наполнителя находятся друг от друга на некотором расстоянии и не оказывают никакого влияния друг на друга. Наполнители в них слабо воздействуют на свойства материала, что позволяет наиболее эффективно изучать свойства матрицы композита. Однако в работе К. Михальчука [18] показано, что применение футеровок для гашения вибрации из эластомеров без наполнителей малоэффективно ввиду низкого модуля упругости. В статье [19] представлено интересное исследование иранских ученых А. Накхаей с соавторами, которое доказывает эффективность применения резиновой крошки в качестве наполнителя в грунтобетонных вибропоглощающих композициях.

Таким образом, можно выделить три основных пути для получения эффективных вибропоглощающих покрытий, объединение которых в систему позволит получить материал с высокими демпфирующими свойствами в широком температурном диапазоне:

- использование комбинированного слоистого покрытия;
- использование смесей полимеров в качестве вяжущего;
- подбор состава вязкоупругого материала и типа наполнителя.

В настоящее время в промышленности России и зарубежных стран налажен выпуск вибропоглощающих покрытий на основе битума и бутилкаучука. Основное назначение этих материалов – уменьшение шума в транспортных средствах (в основном, автомобилях) за счет поглощения вибраций в тонкостенных элементах корпуса. Причем для выполнения действующих норм по обеспечению предельно допустимого внутреннего шума в автомобиле как в России, так и за рубежом необходимо использовать вибропоглощающие покрытия с коэффициентом потерь не менее 0,1, что подтверждается техническими требованиями к вибропоглощающим покрытиям различных производителей автотранспорта. Материалы с наилучшими вибропоглощающими свойствами представлены в таблице 1, зависимость коэффициента потерь этих материалов от температуры представлена на рисунке 1.

Таблица 1. Зарубежные и отечественные выпускаемые в промышленности вибропоглощающие покрытия

Наименование	LD-17 (Antihpon, Швеция)	Dynamat Extreme (Dynamic Control, США)	Hushmat Ultra (HushMat, США)	DF-10AL (Noisebuster, ЗАО «НПП Тэкникал консалтинг»)
Полимер, на основе которого изготавливается покрытие	битум модифицированный	бутилкаучук	бутилкаучук	битумно-полимерный материал
Коэффициент потерь при 20 °С	0,17	0,417	0,3	0,4
Коэффициент потерь при 0 °С	0,08	0,240	0,1	Нет данных
Температурный интервал оптимального использования, °С	от –10 до +60	от –10 до +60	от 0 до +60	Приводятся сведения только при +20, 40, 60, 80
Толщина покрытия, мм	2,4	1,7	1,5	5,5
Источник	20	21	22	23

Импортные материалы обладают высоким коэффициентом потерь (до 0,417 у. е.) при температуре +20 °С и толщине до 2,5 мм. Отечественный материал производства ЗАО «НПП Тэксикал консалтинг» (г. Тольятти) приближается по вибропоглощающим свойствам (0,4 у. е.) к импортному только при толщине 5,5 мм. Общим же недостатком всех представленных материалов является их низкая эффективность при отрицательных температурах. И если материалы на основе бутилкаучука становятся неэффективными при температуре ниже –5 °С [21, 22], то материалы на основе битума неэффективны уже при 0 °С [21, 23], что неприемлемо для климатических условий России.

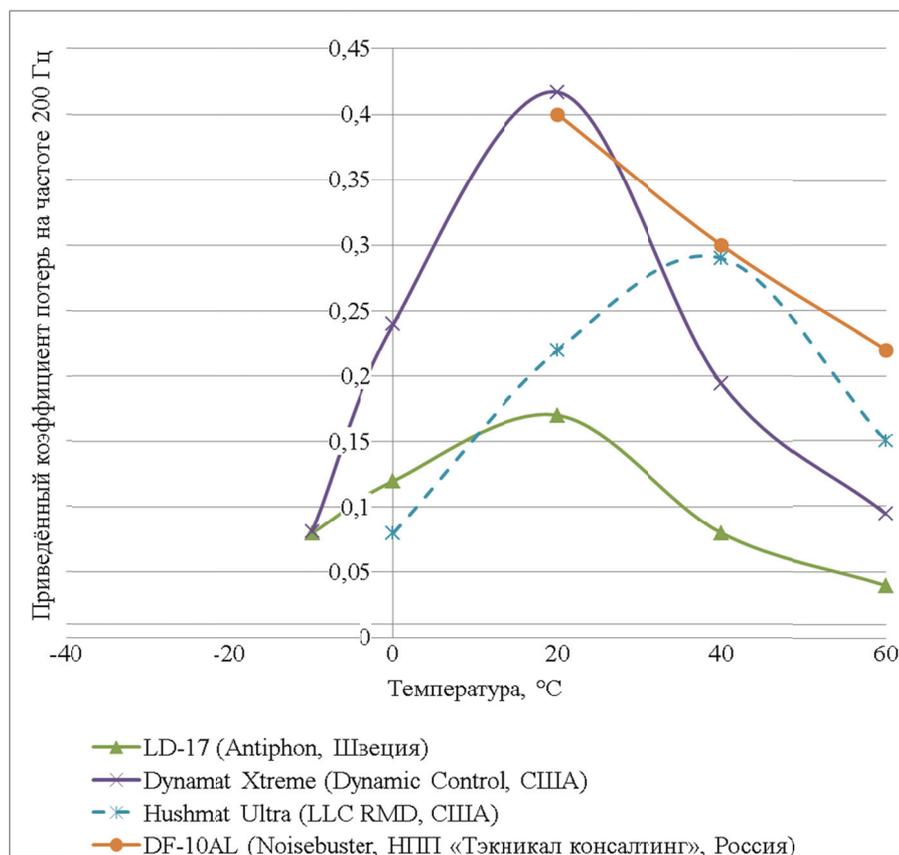


Рисунок 1. Зависимость коэффициента потерь вибропоглощающих покрытий от температуры

Помимо коэффициента потерь, немаловажное влияние на эффективность применения вибропоглощающих материалов оказывают и другие его физико-механические свойства, основными из которых являются модуль упругости, пенетрация и напряжение при отслаивании. Доступность битума и бутилкаучука на промышленном рынке страны, а также большой опыт применения побуждают к подбору составов вибропоглощающих покрытий на их основе с эффективным вибродемпфированием в диапазоне температур от –40 до +40 °С.

Задачи проводимого исследования:

- 1) изучить влияние соотношения битум:бутилкаучук в матрице композита на физико-механические свойства материала;
- 2) установить вибропоглощающие свойства покрытий на основе битумно-каучукового вяжущего в диапазоне температур от –40 до +40 °С.

Экспериментальная часть

Для решения первой задачи в качестве объекта исследования была выбрана полимерная матрица композиционного материала, представляющая собой смесь двух материалов – бутилкаучука БК-1675Н ТУ 2294-034-05766801-2002 и битума БН 90/10 ГОСТ 6617-76, пластифицированная маслом индустриальным И-20А ГОСТ 20799-88 (20% от массы вяжущего); наполнитель – мел марки МТД-2 ТУ 5743-020-05346453-2008 (30% от массы вяжущего). Малая

степень наполнения позволяет изучить влияние состава смеси на свойства покрытия без потери технологических свойств последнего.

Планирование экспериментальных составов производили согласно методике правильного шестиугольника ротатбельного плана [24], матрица планирования представлена в таблице 2.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента

Факторы	Уровень варьирования							Интервалы варьирования (ε)
	-0,87	-0,5	-1	0	+1	+0,5	+0,87	
Содержание БК-1675Н, кг	28,25	37,5	25	50	75	62,5	71,75	25
Содержание БН 90/10, кг	26,95	32,5	25	40	55	47,5	53,05	15

Уравнение регрессии для выходного параметра коэффициент потерь:

$$\hat{Y}_u = 0,0504 - 0,0073x_1 + 0,004x_2 - 0,00275x_1x_2 + 0,006x_1^2 + 0,0048x_2^2.$$

Исследование вибропоглощающих свойств покрытий в диапазоне температур от -40 до $+40$ °С проводилось на образцах: смесь бутилкаучука БК-1675Н и битума БН 90/10 (в соотношении 1:3, 1:1 и 3:1) – 25 мас. ч.; пластификатор – масло индустриальное И-20А – 6 мас. ч., наполнители и добавки – 69 мас. ч.

Полимерный композиционный материал изготавливался в лабораторной резинотехнике с Z-образными лопастями путем механического перемешивания смеси компонентов. После смесь экструдировали в ленту толщиной от 2 до 4 мм, шириной не менее 300 мм. С одной стороны вибропоглощающее покрытие дублировалось антиадгезионным материалом, с другой – армирующим слоем из фольги толщиной 100 мкм. Для определения механических свойств полученного композита использовали разрывную машину Instron модели 3365, пенетрацию определяли по ГОСТ 25945-98. Динамические свойства вибропоглощающих покрытий исследовались на установке Bruel&Kjaer 08-13-10, помещенной в камеру тепла и холода для испытаний по ГОСТ 7025-91 или ГОСТ 10060.0-95.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлены зависимости модуля накопления E' , модуля потерь E'' и приведенного коэффициента потерь η на частоте 200 Гц (рис. 2), пенетрации и напряжения при отслаивании $\sigma_{отсл}$ (рис. 3), предела прочности $\sigma_{пр}$ и относительной деформации ε (рис. 4) от содержания бутилкаучука в матрице малонаполненного вибропоглощающего материала.

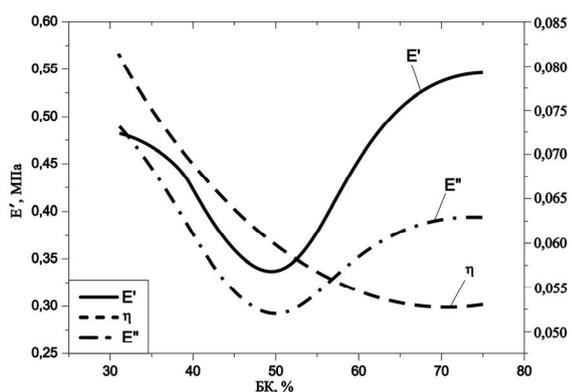


Рисунок 2. Зависимость модуля накопления E' , модуля потерь E'' и коэффициента потерь η от содержания БК в матрице композита

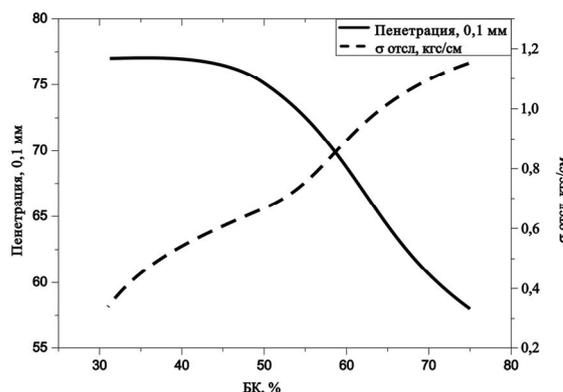


Рисунок 3. Зависимость пенетрации и напряжения при отслаивании от содержания БК в матрице композита

Смесь вязущих материалов представляет собой дисперсионную систему, в которой дисперсная фаза и дисперсионная среда зависят от содержания БК и битума. Следовательно, вид кривой модуля накопления E' на рисунке 2 объясняется следующим образом [25]:

- в первой области (содержание БК 30–50%) высокомодульная дисперсная фаза БК не деформируется вместе с мягкой дисперсионной средой битума; в результате в матрице битума возникают большие внутренние напряжения, которые вызывают ее быстрое разрушение;
- во второй области (содержание БК 50–80%) дисперсная фаза битума практически не мешает деформированию жесткой дисперсионной среды (матрицы бутилкаучука); в этом случае бутилкаучук может в полной мере проявить свои прочностные и деформационные свойства.

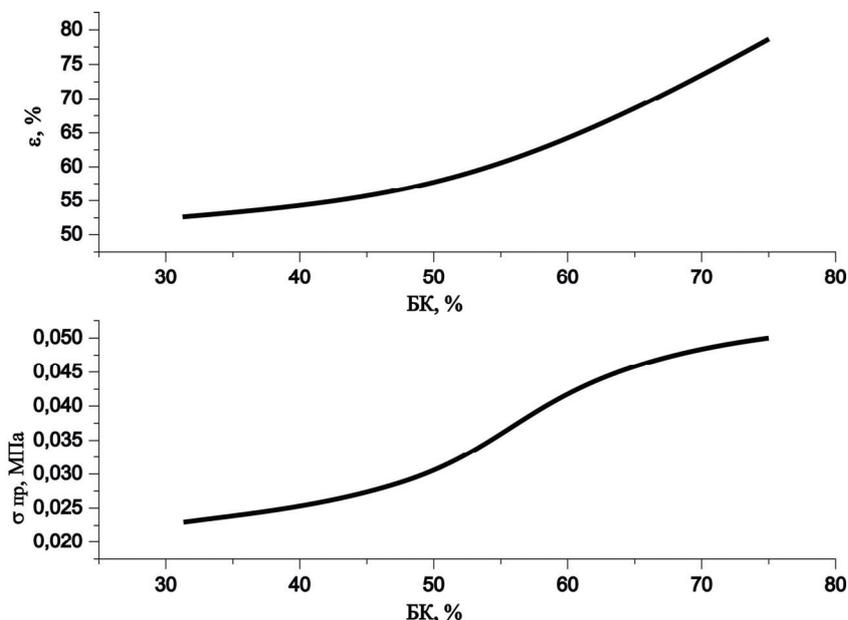


Рисунок 4. Зависимость предела прочности $\sigma_{пр}$ и относительной деформации ε от содержания БК в матрице композита

Зависимость модуля потерь E'' (рис. 2) имеет седловидную форму с минимумом при равном содержании БК и битума в материале. С увеличением количества бутилкаучука в матрице композита коэффициент потерь η и пенетрация снижаются, потому что бутилкаучук обладает большими прочностными свойствами (рис. 4), а свойства битума как пластификатора снижаются [26]. Для увеличения адгезионных свойств (рис. 3) эффективнее применение композитов с наибольшим содержанием БК.

На рисунке 5 представлена зависимость коэффициента потерь от температуры в матрице высоконаполненного вибропоглощающего материала при соотношении в смеси битум:БК, равном 3:1, 1:1 и 1:3 соответственно. Увеличение количества наполнителя положительно влияет на вибропоглощающие свойства за счет дополнительных потерь на поверхности частиц наполнителя и в межфазном слое.

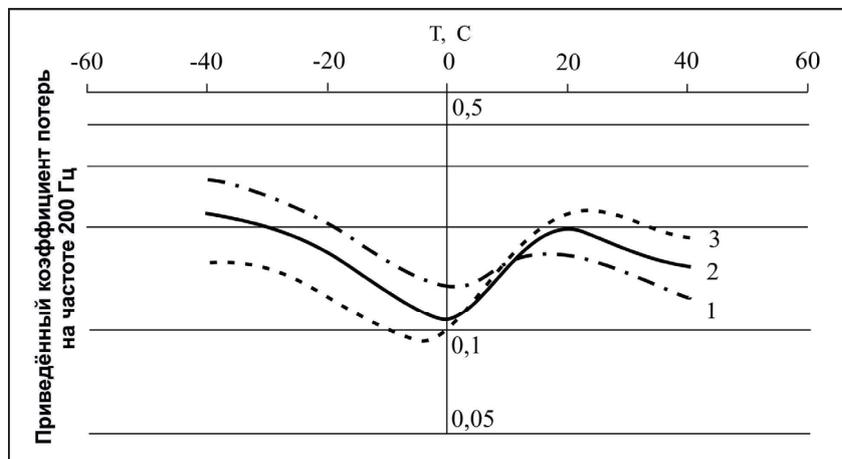


Рисунок 5. Температурная зависимость коэффициента потерь η от соотношения в смеси битум:БК (мас. ч.): 1 – 1:3; 2 – 1:1; 3 – 3:1

Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий

В диапазоне температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ на графике зависимости коэффициент потерь–температура четко видны два максимума и минимум в области $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Первый максимум при температуре ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствует температуре стеклования БК в смеси. Второй максимум при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствует температуре стеклования битума. При увеличении содержания бутилкаучука в смеси максимумы смещаются влево, материал становится более эффективным в диапазоне отрицательных температур. Однако из-за большей стоимости БК увеличивать его содержание более 60–70% невыгодно. При содержании БК менее 25% в диапазоне от -10 до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ значение коэффициента потерь ниже 0,1, значит, вибропоглощающее покрытие неэффективно.

Следовательно, для получения вибропоглощающего покрытия с заданными эксплуатационными свойствами и эффективного в диапазоне температур от -40 до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ необходимо придерживаться соотношения битум:БК=1:1 в матрице композиционного материала.

Выводы

1. Проведенные исследования позволили установить зависимости физико-механических свойств композиционного материала от содержания битум:бутилкаучук в матрице композита.
2. В результате исследований матрицы композита установлено, что для вибропоглощающих материалов оптимальной является смесь битум:бутилкаучук в соотношении 50:50, обеспечивающая требуемые физико-механические свойства композита.
3. Установлено, что композиции с большим содержанием битума обладают наиболее эффективным вибропоглощением в диапазоне положительных температур. С целью получения вибропоглощающего материала, эффективного в диапазоне температур от -40 до $+40$, необходимо применять составы, в которых содержание бутилкаучука не менее 50% от массы матрицы композита.

Работа выполнена по ГК № 14.527.12.0007 от 11.10.2011 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы»

Литература

1. Воскун М.Д., Милонова Н.А., Егоров П.Г., Мальков А.М. Пат. 2188214 Российская Федерация, МПК С08L95/00, В32В11/02, В60R13/08. Виброшумопоглощающий листовый материал и способ его получения; заявитель и патентообладатель ООО "Стандартпласт-плюс". – № 2000127377/04; заявл. 01.11.00; опубл. 27.08.02.
2. Patent – 5229216 US, F16F 9/30 Vibration damping sheet/ W. Yoshiaki, S. Hideo, T. Masataka; Nihon Tokushu Toryo Co., Ltd. (Tokyo, JP) – N 07/784602; Filing Date 10/24/1991; Publication Date 07/20/1993
3. Бурмистров В.А., Корженевский А.Б., Койфман О.И., Росин М.В. Пат. 2235106 Российская Федерация, МПК7 С08L95/00, С08L23/22, С08L91/00, С08L93/00, С08К3/04, С08К7/18. Вибропоглощающий материал; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Ивановский гос. хим.-тех. ун-в.» – № 2003128616/04 ; заявл. 23.09.03 ; опубл. 27.08.04.
4. Литус А.А., Сеницына И.Н., [и др.] Пат. 2368630 Российская Федерация, МПК С08L95/00, С08К3/26. Виброшумопоглощающий листовый материал; заявитель и патентообладатель Саратовский гос. тех. ун-в. – № 2008112756/04 ; заявл. 02.04.08; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27. 7 с.
5. Rao M.D. Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes // Journal of Sound and Vibration. 2003. Vol. 262. – Pp. 457–474.
6. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Фомин Н.Е. Вибропоглощающие композиционные материалы. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 96 с.
7. Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Изд-во литер. по строительству, архитектуре и строит. механике, 1960. 146 с.
8. Тарануха Н.А., Журбин О.В., Журбина И.Н. Исследование колебаний судовых стержневых конструкций с учётом сопротивления внешней среды различной плотности // Мореходство и морские науки – 2011: избранные доклады Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф. Южно-Сахалинск, 2011. С. 82–94.

Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий

9. Комова Н.Н., Потапов Е.Э., Грусков А.Д. [и др.] Особенности принципа температурно-временной эквивалентности в полиэтилене низкой плотности, наполненном шунгитом // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2013. Т. 8. №1. С. 24–35.
10. Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Прогнозирование демпфирующих свойств композита с учетом температурной зависимости свойств полимера // Вестн. Томского гос. архит.-строит. ун-та. 2012. №4. С. 216–225.
11. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний. М.: Мир, 1988. 488 с.
12. Dutt J.K., Nakra B.C. Stability of rotor systems with viscoelastic supports // Journal of Sound and Vibration. 1992. Vol. 153. Pp. 89–96.
13. Nakra B.C. Vibration control in machines and structures using viscoelastic damping // Journal of Sound and Vibration. 1998. Vol. 211. Pp. 449–465.
14. Sarlin E., Liu Y., Vippola M. [et al]. Vibration damping properties of steel/rubber/composite hybrid structures // Composite structures. 2012. Vol. 94. Pp. 3327–3335.
15. Qu L., Huang G., Wu J., Tang Z. Damping mechanism of chlorobutyl rubber and phenolic resin vulcanized blends // Journal of materials science. 2007. Vol. 42. Pp. 7256–7262.
16. Бочарова Е.Г. Разработка мастичных вибропоглощающих полимерных материалов на основе модифицированных карбамидноформальдегидных смол: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 1994. 138 с.
17. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М.: Стройиздат, 1988. 312 с.
18. Michalczyk K. Analysis of the influence of elastomeric layer on helical spring stresses in longitudinal resonance vibration conditions // Archives of civil and mechanical engineering. 2013. Vol. 13. Pp. 21–26.
19. Nakhaei A., Marandi S.M., Kermani S.S., Bagheripour M.H. Dynamic properties of granular soils mixed with granulated rubber // Soil dynamics and earthquake engineering. 2012. Vol. 43. Pp. 124–132.
20. Structure-borne sound damping pads [Электронный ресурс] // Antiphon AB. Åmotfors, Sweden. URL: http://www.antiphon.se/noise-reduction/antiphon_id_engelsk09_id346.pdf. (дата обращения: 02.10.2013).
21. Dynamat xtreme [Электронный ресурс] // Dynamic Control of North America, Inc. Hamilton, USA. URL: http://www.dynamat.com/technical_specs_dynamat_xtreme.html. (дата обращения: 02.10.2013).
22. Hushmat ultra [Электронный ресурс] // Speedway Motors, Inc Lincoln, USA. URL: http://static.speedwaymotors.com/pdf/Hushmat_Ultra.pdf. (дата обращения: 02.10.2013).
23. Damping faced 10AL [Электронный ресурс]. URL: <http://www.noisebuster-msk.ru/view.php?id=6>. (дата обращения: 02.10.2013).
24. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. 263 с.
25. Влияние состава и структуры смесей полимеров на их механические свойства: [Электронный ресурс] // Полимерные композиционные материалы. М., 2010–2013. URL: <http://www.http://p-km.ru>. (дата обращения: 11.05.2013).
26. Cherkasov V.D., Yurkin Yu.V., Avdonin V.V. Plasticization peculiarities of vibration damping composite materials on the basis of elastomers // Nauka i studia: Przemysł, «Nauka i studia». 2012. Pp. 99–103.

*Василий Дмитриевич Черкасов, г. Саранск, Республика Мордовия
+7(8342)473713; e-mail: vd-cherkasov@yandex.ru*

*Юрий Викторович Юркин, г. Саранск, Республика Мордовия
+7(8342)473713; e-mail: yurkinuv@gmail.com*

*Валерий Викторович Авдонин, г. Саранск, Республика Мордовия
+7(8342)473713; e-mail: avdoninvalerii@bk.ru*

© Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В., 2013

doi: 10.5862/MCE.43.2

Bitumen-rubber mixture for effective vibration damping sheet

V.D. Cherkasov*N.P.Ogarev Mordovia State University, Saransk, Republic of Mordovia, Russia
+7(8342)473713; e-mail: vd-cherkasov@yandex.ru***Yu.V. Yurkin***N.P.Ogarev Mordovia State University, Saransk, Republic of Mordovia, Russia
+7(8342)473713; e-mail: yurkinuv@gmail.com***V.V. Avdonin***N.P.Ogarev Mordovia State University, Saransk, Republic of Mordovia, Russia
+7(8342)473713; e-mail: avdoninvalerii@bk.ru*

Key words

damping sheet; bitumen; rubber; physical and mechanical properties; temperature

Abstract

The results of researches of a bitumen-rubber mixture design for the damping sheet are presented. Application of vibration damping sheet in thin-walled construction designs allows reducing negative vibrations considerably.

Existent bituminous and bituminous-rubber materials have insufficient vibration damping in the range of negative temperatures that is inadmissible in Russian climate conditions. Selection of structure bitumen-rubber mixture and regularity establishment of its properties will allow receiving a material with a wide temperature range of application.

As an object of research there was chosen the polymeric matrix representing a mix of two materials – butyl rubber and bitumen, plasticized by industrial oil I-20A; the filler – swept of MTD-2 brands. The dependence of physical and mechanical properties of a material on the contents of bitumen-butyl rubber in a mix was established. The material based on the received mixture has effective vibration damping in the range of temperatures from -40 to +40 °C.

References

1. Voskun M. D., Milonova N. A. Egorov P. G., Malkov A.M. Patent – 2188214 Russian Federation, MPK C08L95/00, B32B11/02, B60R13/08. *Vibroshumopogloshchayushchiy listovoy material i sposob yego polucheniya* [Vibration damping sheet material and way of its receiving]. Patentee and possessor of the patent LLC “Standartplast-plyus”. No. 2000127377/04; Filing Date 01/11/00; Publication Date 27/08/02. (rus)
2. Yoshiaki W., Hideo S., Masataka T. *Vibration damping sheet*. US Patent 5229216. Nihon Tokushu Toryo Co., Ltd. 20 July 1993
3. Burmistrov V.A., Korzhenevskiy A.B., Koyfman O.I., Rosin M.V. Patent – 2235106 Russian Federation, MPK C08L95/00, C08L23/22, C08L91/00, C08L93/00, C08K3/04, C08K7/18. *Vibropogloshchayushchiy material* [Vibration damping material]. – Patentee and possessor of the patent Ivanovo State University of Chemistry and Technology. No. 2003128616/04; Filing Date 23/09/03; Publication Date 27/08/04. (rus)
4. Litus A.A. Sinitsyna I.N. [at al]. Patent – 2368630 Russian Federation, MPK C08L95/00, C08K3/26. *Vibroshumopogloshchayushchiy listovoy material* [Vibration damping and noise sheet material]. Patentee and possessor of the patent Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. No. 2008112756/04; Filing Date 02/04/08 ; Publication Date 27/09/09 (rus)
5. Rao M.D. Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes. *Journal of Sound and Vibration*. 2003. Vol. 262. Pp. 457–474.
6. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Fomin N.E. *Vibropogloshchayushchiye kompozitsionnyye materialy* [Vibration damping composite materials]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. 96 p. (rus)
7. Sorokin E.S. *K teorii vnutrennego treniya pri kolebaniyakh uprugikh system* [To the theory of internal friction at fluctuations of elastic systems]. Moscow: Izd-vo liter. po stroitelstvu, arkhitekture i stroit. mekhanike, 1960. 146 p. (rus)

8. Taranukha N.A., Zhurbin O.V., Zhurbina I.N. *Morekhdstvo i morskoye nauki – 2011: izbrannyye doklady Tretyey Sakhalinskoy regionalnoy morskoy nauch.-tekhn. konf.* [Navigation and marine sciences – 2011: the chosen reports of the Third Sakhalin regional sea scientific and technical conference]. Yuzhno-Sakhalinsk, 2011. Pp. 82–94. (rus)
9. Komova N.N., Potapov E.E., Gruskov A.D., Zaikov G.E. *Fine Chemical Technologies*. 2013. Vol. 8. No.1. Pp. 24–35. (rus)
10. Cherkasov V.D., Yurkin Yu.V., Avdonin V.V. *Vestnik of TSUAB*. 2012. No. 4. Pp. 216–225. (rus)
11. Nashif A., Jones D., Henderson G. *Dempfirovaniye kolebaniy* [Vibration damping]. Moscow: Mir, 1988. 488 p. (rus)
12. Dutt J.K., Nakra B.C. Stability of rotor systems with viscoelastic supports. *Journal of Sound and Vibration*. 1992. Vol. 153. Pp. 89–96.
13. Nakra B.C. Vibration control in machines and structures using viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*. 1998. Vol. 211. Pp. 449–465.
14. Sarlin E., Liu Y., Vippola M. [et al]. Vibration damping properties of steel/rubber/composite hybrid structures. *Composite structures*. 2012. Vol. 94. Pp. 3327–3335.
15. Qu L., Huang G., Wu J., Tang Z. Damping mechanism of chlorobutyl rubber and phenolic resin vulcanized blends. *Journal of materials science*. 2007. Vol. 42. Pp. 7256–7262.
16. Bocharova E.G. *Razrabotka mastichnykh vibropogloshchayushchikh polimernykh materialov na osnove modifitsirovannykh karbamidnoformaldegidnykh smol* [Research of mastic vibration damping polymeric materials on the basis of the modified karbamidnoformaldegidny pitches]. PhD thesis. Saint-Petersburg, 1994. 138 p. (rus)
17. Solomatov V.I., Bobryshev A.N., Himmler K.G. *Polimernyye kompozitsionnyye materialy v stroitelstve* [Polymeric composite materials in construction]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 312 p. (rus)
18. Michalczyk K. Analysis of the influence of elastomeric layer on helical spring stresses in longitudinal resonance vibration conditions. *Archives of civil and mechanical engineering*. 2013. Vol. 13. Pp. 21–26.
19. Nakhaei A., Marandi M., Kermani S.S., Bagheripour M.H. Dynamic properties of granular soils mixed with granulated rubber. *Soil dynamics and earthquake engineering*. 2012. Vol. 43. Pp. 124–132.
20. *Structure-borne sound damping pads* [Online resource]. Antiphon AB. Åmotfors, Sweden. URL: http://www.antiphon.se/noise-reduction/antiphon_id_engelsk09_id346.pdf. (accessed: February 10, 2013).
21. *Dynamat xtreme* [Online resource]. Dynamic Control of North America, Inc. Hamilton, USA. URL: http://www.dynamat.com/technical_specs_dynamat_xtreme.html. (accessed: February 02, 2013).
22. *Hushmat ultra* [Online resource]. Speedway Motors, Inc Lincoln, USA. URL: http://static.speedwaymotors.com/pdf/Hushmat_Ultra.pdf. (accessed: February, 10. 2013).
23. *Damping faced 10AL* [Online resource]. URL: <http://www.noisebuster-msk.ru/view.php?id=6>. (accessed: February 10, 2013.)
24. Tikhomirov V. B. *Planirovaniye i analiz eksperimenta* [Planning and analysis of experiment]. Moscow: Legkaya industriya, 1974. 263 p. (rus)
25. *Influence of structure and structure of mixes of polymers on their mechanical properties*: [Online resource]. Polymeric composite materials. Moscow, 2010–2013. URL: <http://www.http://p-km.ru>. (accessed: May 11, 2013). (rus)
26. Cherkasov V.D., Yurkin Yu.V., Avdonin V.V. Plasticization peculiarities of vibration damping composite materials on the basis of elastomers. *Nauka i studia: Przemysl*. 2012. Pp. 99–103.

Full text of this article in Russian: pp. 7–13