

Исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов и покрытий машиностроительного назначения

Research of viscoelastic and adhesion-strength property and development of effective vibration absorbing composite polymeric materials and coatings of mechanical engineering purpose

С.С. НЕГМАТОВ¹, Н.С. АБЕД¹, Р.Х. САИДАХМЕДОВ¹, Т.У. УЛЬМАСОВ¹,
А.А. ГРИГОРЬЕВ², В.П. СЕРГИЕНКО², К.С. НЕГМАТОВА¹, С.С. ЖОВЛИЕВ¹,
Ж.Н. НЕГМАТОВ¹, З.У. МАХАММАДЖОНОВ¹, М.М. САДЫКОВА¹,
М.Н. НЕГМАТОВА¹, О.Х. АБДУЛЛАЕВ¹, Ф.М. НАВРУЗОВ¹

S.S. NEGMATOV¹, N.S. ABED¹, R.KH. SAIDAKHMEDOV¹, T.U. ULMASOV¹,
A.Y. GRIGORIEV², V.P. SERGIENKO², K.S. NEGMATOVA¹, S.S. JOVLIEV¹, J.N. NEGMATOV¹,
Z.U. MAKHAMMADJONOV¹, M.M. SADYKOVA¹, M.N. NEGMATOVA¹,
O.KH. ABDULLAEV¹, F.M. NAVRUZOV¹

¹ ГУП «Фан ва тараккиёт» (Наука и прогресс) при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова
г. Ташкент, Узбекистан

² Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси, Республика Беларусь, Гомель

¹ Fan va Tarakkiyot (Science and Progress) State Unitary Enterprise of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

² Institute of Mechanics of Metal-Polymer Systems, National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus, Gomel
fan_va_taraqqiyot@mail.ru, mpri@mail.ru

В данной работе приведены результаты исследований по разработке эффективных вибропоглощающих полимерных материалов и покрытий из них. Изложен и обоснован выбор объектов исследования для создания вибропоглощающих композиционных полимерных материалов с хорошими адгезионно-прочностными свойствами, способствующими снижению вибрации деталей и повышению долговечности конструкций машин и, как следствие, снижению уровня шума в производственных помещениях. Описаны методики получения вибропоглощающих полимерных композиций и образцов для их испытания в условиях вибрации, а также методика изучения вязкоупругих свойств, химическая структура, адгезионная прочность, микротвердость, ударная прочность полимерных покрытий и коэффициент теплопроводности полученных образцов из композиций на основе гомополимеров, наполненных органоминеральными ингредиентами. Приведены результаты исследований вибропоглощающих и адгезионно-прочностных свойств полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных полимеров и органоминерального наполнителя – резинового порошка.

Ключевые слова: термореактивные полимеры, вибропоглощающий, адгезионная прочность, наполнитель, вязкоупругость, ударная прочность, модуль упругости

The choice of objects of research for reducing vibration of parts and increasing the durability of machine designs and, consequently, the noise level in industrial premises is stated and justified. Methods for obtaining vibration-absorbing polymer compositions and samples for their testing under vibration conditions are described, as well as methods for studying viscoelastic properties, chemical structure, adhesive strength, microhardness, impact strength of polymer coatings and thermal conductivity of the obtained samples from compositions based on homopolymers filled with organomineral ingredients. The results of studies of the vibration-absorbing and adhesive-strength properties of polymer composite materials based on epoxy polymers and an organomineral filler – rubber powder are presented.

Keywords: thermosetting polymers, vibration-absorbing, adhesive strength, filler, viscoelasticity, impact strength, elastic modulus

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-7-8-32-36

Введение

На современном этапе развития техники борьба с вибрацией и шумом на производстве является актуальной задачей, так как надежность и долговечность машин и механизмов, а также производительность труда неразрывно связаны с вибропрочностью оборудования и уровнем шума в производственных помещениях [1, 2, 3].

Наиболее эффективным среди существующих методов борьбы с шумом и вибрацией является использование способности полимерных материалов поглощать энергию колебаний [2, 4–14].

В науке о полимерах одной из главных задач является создание композиционных полимерных материалов (КПМ) с заданными

свойствами. Разработка научных основ получения таких материалов имеет принципиальное значение: она позволяет значительно расширить круг полимерных материалов и разнообразие их свойств на основе уже созданных и выпускаемых промышленностью полимеров путем их физической модификации. Физическая модификация известных полимеров, их комбинация с ингредиентами другой природы и структуры – это один из перспективных путей создания эффективных полимерных материалов с необходимой структурой, составом и характеристиками [5–15], а также с заданными свойствами, в частности, вязкоупругими и вибропоглощающими [16–25].

В настоящее время для снижения уровня вибрации и, следовательно, шума, успешно применяются различные вибропоглощающие композиционные полимерные материалы. Однако эти материалы преимущественно состоят из гомополимеров и различных интредитентов. Они дорогие и имеют сравнительно узкий диапазон проявления максимума потерь, а также ограниченный ассортимент. Эти недостатки не позволяют широко использовать их в качестве вибропоглощающих материалов.

В связи с этим возникает необходимость разработки новых эффективных импортозамещающих и экспортоориентированных вибропоглощающих материалов на основе полимерных композиций со сравнительно низкой стоимостью.

Известно, что из термореактивных полимеров эпоксициановые полимеры и их модификации отличаются высокой адгезией к подложке, микротвердостью с высоким модулем упругости и ещё одной немаловажной особенностью – технологичностью при получении полимера из олигомеров, т.е. их можно отверждать различными отвердителями, в частности, аминами, при нормальной температуре. Вместе с тем эпоксидные полимеры и их фураноэпоксидные и эпоксиаланцевые модификации менее ударопрочны, чем линейные полимеры, коэффициент механических потерь у них сравнительно низкий.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих полимерных композиционных материалов на основе термореактивных полимеров и органоминерального наполнителя – резинового порошка.

Объекты и методика исследования

В качестве объекта исследования были выбраны эпоксициановые, фурановые и сланцевые полимеры ЭД-16, ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), ФАЭД-20 (ТУ59-02.039.13-78) и ЭИС-1 (ТУ 38-1091-76) [1, 25], а также порошкообразные эластомеры ПЭ-Ш (шероховальный) и ПЭ-Э (экструзионный) [14, 15], пластификатор дибутилфталат (ДБФ), отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА).

Следует отметить, что фурано-эпоксидную смолу ФАЭД-20 получают при совмещении 80 мас.ч. фурфуrolацетонного мономера ФА и 20 мас.ч. эпоксидного олигомера ЭД-16. Одним из достоинств ФАЭД-20 является то, что фурфуrolацетонный мономер ФА получают из дешевого недефицитного сырья стеблей хлопчатника, запасы которого практически неисчислимы в Узбекистане. Покрытия из ФАЭД-20 имеют высокую адгезионную прочность, водо-, термо- и химическую стойкость. Аналогичными путями получают эпоксиаланцевые полимеры. Поэтому ФАЭД-20 и ЭИС-1 были выбраны в качестве модифицированных эпоксидных смол.

Методика получения вибропоглощающих полимерных композиций и образцов для их испытания

Для испытания вибропоглощающих свойств полимеров и композиций на основе ЭД-16, ЭД-20, ФАЭД-20 и ЭИС-1 образцы получали следующим образом. Необходимое количество эпоксидных, фураноэпоксидных и эпоксидно-сланцевых олигомеров сушили в сушильном шкафу 2 часа при 370 К. Затем в олигомеры вводили сначала необходимое количество пластификатора ДБФ, полимерных и органоминеральных наполнителей, затем отвердитель (ЭД:ПЭПА = 10:1). После введения каждого ингредиента композицию перемешивали в течение десяти минут механической мешалкой при 300 К. Готовую смесь отливали в формы, предварительно обработанные антиадгезионным веществом. Реакционноспособную массу отверждали при 300 К (ФАЭД-20 – при 350 К) в течение десяти часов. Образцы из ЭД и ЭИС подвергались термообработке при 373 К в течение четырёх часов, а образцы из ФАЭД – при 400 К в течение шести часов.

Образцы для исследования химической структуры материала получали методом прессования таблеток с калий-бромом (КВг). Для чего отвержденный полимер или композиционный материал измельчали в ступке и добавляли измельченный КВг. Затем из этого порошка получали таблетки на прессе.

Методика исследования вибропоглощающих и физико-механических свойств композиционных полимерных материалов

Вязкоупругие свойства полученных образцов исследовали методом ширины резонансной впадины [1, 21].

Химическую структуру полученных образцов из гомополимеров и композиций на их основе изучали методом ИК-спектроскопии на спектрометре SPECOROD-75IR.

Адгезионную прочность покрытий на основе полученных композиций определяли методом отрыва грибков, соединенных между собой связующим, на разрывной машине FP-100/1.

Микротвердость композиционных полимерных покрытий определяли прибором ПМТ-3, представляющим собой микроскоп с устройством для вдавливания индентора в испытуемый материал под определенной статической нагрузкой.

Ударную прочность полимерных покрытий определяли на приборе У-2, представляющем собой вертикальный копер.

Толщину покрытий измеряли магнитным толщиномером ТИП-10.

Для изучения теплофизических свойств, в частности, определения коэффициента теплопроводности, нами предварительно был применен стационарный метод определения теплового потока при комнатной температуре – теплотрический метод. Метод основан на регистрации теплового потока от плоского источника постоянной мощности сквозь испытуемый образец к телу с постоянной температурой.

Температурную зависимость теплопроводности исследуемых полимеров и композиций на их основе изучали динамическим методом. Экспериментальное определение теплопроводности исследуемых композиций проводилось в диапазоне температур 240–500 К по ГОСТ 23630.2-79 на приборе ИТ-λ-400, одном из немногих приборов для теплофизических исследований, выпускаемых промышленностью Российской Федерации.

Измерение теплопроводности проводилось на образцах из полимерных композиций диаметром 15 мм.

Обработка всех экспериментальных данных проводилась методом математической статистики.

Полученные научные результаты и их обсуждение

В первую очередь были исследованы адгезионно-прочностные и вибропоглощающие свойства полимеров. Результаты исследования вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств полимеров и их модификации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Вязкоупругие и адгезионно-прочностные свойства термореактивных полимеров и их модификации.

Свойства	Полимеры			
	ЭД-20	ЭД-16	ФАЭД-20	ЭИС-1
Логарифмический декремент, δ	0,086	0,110	0,098	0,091
Динамический модуль упругости E', МПа	3820	4060	3580	3400
Модуль потерь E'', МПа	344	398	387	310
Температура стеклования, T _с , К	390	370	400	340
Плотность ρ, г/см ³	1,26	1,28	1,25	1,23
Адгезионная прочность σ _а , МПа	36,0	32,0	40,0	26,0
Ударная прочность σ _{уп} , МПа	1,11	1,20	1,22	1,26

Учитывая, что исследованные эпоксидные полимеры и их модификации имеют высокие вязкоупругие и адгезионно-прочностные свойства, для дальнейшего проведения исследований и разработки эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов с хорошими адгезионно-прочностными свойствами нами был использован термореактивный полимер на основе ЭД-16.

Модификация эпоксидных полимеров полимерными наполнителями, уступающими по прочности связующему, например, вулканизированным каучуками, должна позволять существенно повысить ударную прочность и вязкоупругие свойства композиций. К таким вулканизированным каучукам относится измельченный резиновый порошок из отходов резинотехнических изделий и изношенных автотракторных шин после соответствующей обработки (измельчения).

В связи с этим в качестве полимерного наполнителя для жесткоцепных полимеров были выбраны резиновые порошки, отличающиеся друг от друга по способу измельчения. Свойства резиновых порошков приведены в таблице 2.

Исследование вязкоупругих свойств композиций на основе эпоксидного полимера ЭД-16 в зависимости от содержания резинового порошка, измельченного на экструдере, показало, что эта зависимость носит экстремальный характер (рис. 1).

Логарифмический декремент с увеличением содержания резинового порошка в системе увеличивается и проходит через максимум при 40–45 мас.ч. наполнителя без низкомолекулярного пластификатора ДБФ.

Таблица 2. Свойства резиновых порошков.

Наименование	Полимерная основа	Насыпной вес, г/см ³	Дисперсность, мкм	Фракционный состав, %
Порошкообразный эластомер ПЭ-Ш (шероховальный)	СКС-30 АРКМ-15	0,43±0,1	100–500	49
Порошкообразный эластомер ПЭ-Э (экструзионный)	СКС-30 СКН-18	0,36±0,1	100–600	68

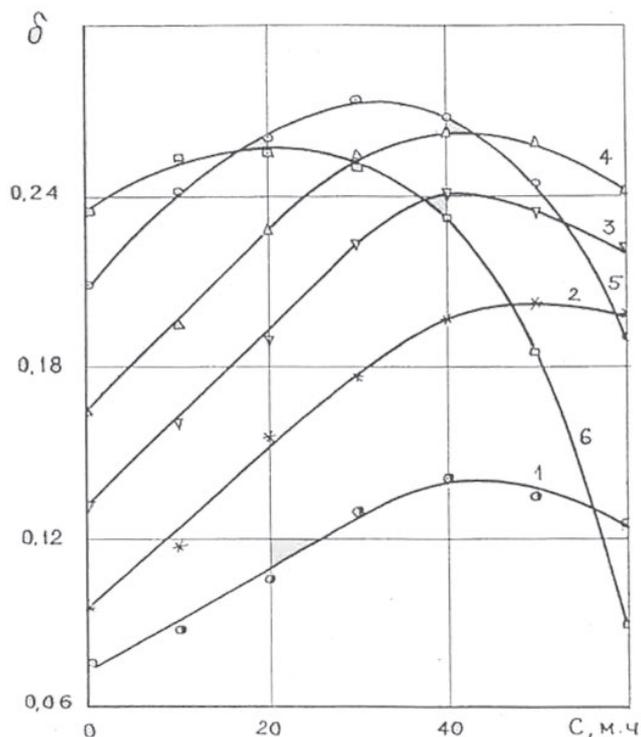


Рис. 1. Зависимость декремента колебаний эпоксидной композиции от содержания резинового порошка при различных содержаниях ДБФ. Содержание ДБФ: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25; 6 – 30 мас.ч.

В присутствии ДБФ до 10 мас.ч. максимум логарифмического декремента наблюдается при 35–45 мас.ч. резинового порошка при различном содержании ДБФ. При этом интенсивность увеличения механических потерь больше, чем без ДБФ.

Вероятно, это обусловлено тем, что в присутствии ДБФ поверхность наполнителя хорошо смачивается связующим.

Однако с увеличением доли низкомолекулярного пластификатора до 30 массовых частей максимум логарифмического декремента

смещается в сторону более низких концентраций резинового порошка. При ДБФ 15, 20, 25, 30 мас.ч. максимум потерь системы наблюдается соответственно при 40, 35, 30 и 15 мас.ч. резинового порошка. Это явление обусловлено, по-видимому, ухудшением взаимодействия между резиновым порошком и связующим, т.е. при содержании ДБФ взаимодействие между связующим и поверхностью наполнителя ухудшается, так как поверхность будет смочена ДБФ, а не смолой.

С увеличением содержания резинового порошка, количество пластификатора ДБФ, расходуемое на смачивание его поверхности, увеличивается. Доля ДБФ, создающая эффект межлачечной пластификации, уменьшается до минимума, и происходит антипластификация композиции, т.е. увеличение прочности связующего. Вследствие этого механические потери в системе уменьшаются.

Эффективность вибропоглощающих материалов и покрытий на их основе оценивается произведением логарифмического декремента колебаний на динамический модуль упругости – $\delta E'$ [1]. Далее было исследовано влияние резинового порошка на динамический модуль упругости.

Анализ зависимости показателя δE от содержания резинового порошка показал, что с увеличением доли наполнителя в системе наблюдается увеличение $\delta E'$, и она проходит через максимум при 40 м.ч. наполнителя (рис. 2) при отсутствии ДБФ.

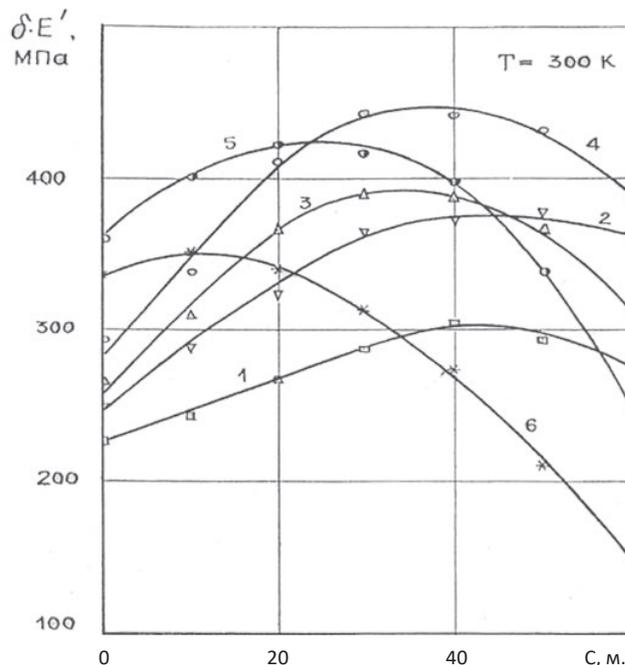


Рис. 2. Зависимость параметра $\delta E'$ эпоксидной композиции от содержания резинового порошка при температуре 300 К. Содержание ДБФ: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25; 6 – 30 мас.ч.

При более высоком значении ДБФ (15, 20, 25, 30 мас.ч.) максимум $\delta E'$, так же, как и максимумы δ (логарифмический декремент колебаний), наблюдается при меньших содержаниях наполнителей.

Таблица 3. Составы и физико-механические свойства вязкоупругих вибропоглощающих композиционных полимерных материалов.

Вид материала	Состав разработанной композиции	δE , МПа	σ_A , МПа	H_M , МПа	$\sigma_{y.п.}$, МПа	λ , Вт/м.к
ВПМ-ЭД-16	ЭД-16 – 100 мас.ч. ДБФ – 15 мас.ч. ПЭПА – 10,2 мас.ч. Резиновый порошок – 30 мас.ч.	385	28	136	4,5	0,22
ВПМ-ЭД-20	ЭД-20 – 100 мас.ч. ДБФ – 20 мас.ч. ПЭПА – 10,2 мас.ч. Резиновый порошок – 40 мас.ч.	378	26	134	4,3	0,22
ВПМ-ФАЭД-20	ФАЭ-20 – 100 мас.ч. ДБФ – 20 мас.ч. ПЭПА – 10,2 м.ч. Резиновый порошок – 40 мас.ч.	370	25	130	4,2	0,20
ВПМ-ЭИС-1	ЭИС – 100 мас.ч. ДБФ – 15 мас.ч. ПЭПА – 10,2 мас.ч. Резиновый порошок – 35 мас.ч.	362	25	132	4,0	0,18

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что, в отличие от чешуйчатых минеральных наполнителей, у резинового порошка очень слабо выражен эффект внутреннего трения между частицами наполнителей. Это обусловлено высокой гибкостью данного наполнителя.

Исследование температурной зависимости эпоксидных композиций, наполненных резиновым порошком, показало (рис. 3), что мягкий наполнитель играет роль пластификатора, т.е. температура стеклования композиции смещается в сторону более низких температур. Если температура стеклования эпоксидной композиции с 25 мас.ч. ДБФ составляет 350 К, то введение 30 мас.ч. резинового порошка снижает T_c на 20 К (рис. 3).

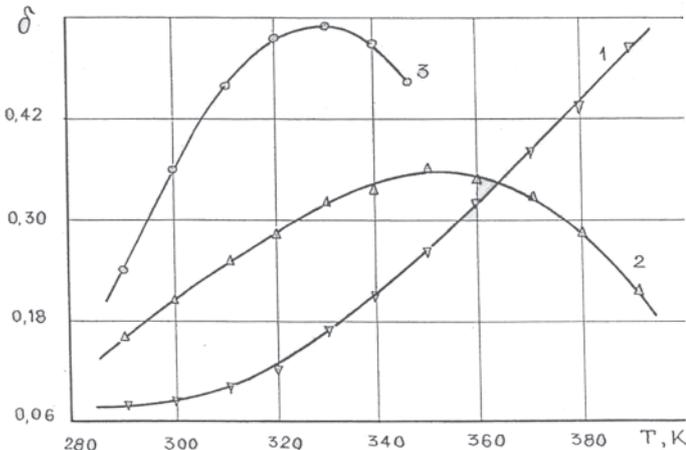


Рис. 3. Температурная зависимость декремента колебаний эпоксидной композиции от температуры стеклования. 1 – РП – 0; 2 – ДБФ – 25; 3 – ДБФ – 25 + РП – 30 мас.ч.

При этом наблюдается значительное увеличение логарифмического декремента системы относительно композиции без резинового порошка. Это увеличение составляет более 40%.

Такое увеличение механических потерь в присутствии резинового порошка обусловлено значительным ухудшением адгезионной связи между связующим и наполнителем в присутствии ДБФ. Сдвиг T_c композиции обусловлен уменьшением плотности упаковки макромолекул связующего, а также увеличением дефекта сетки (рис. 4).

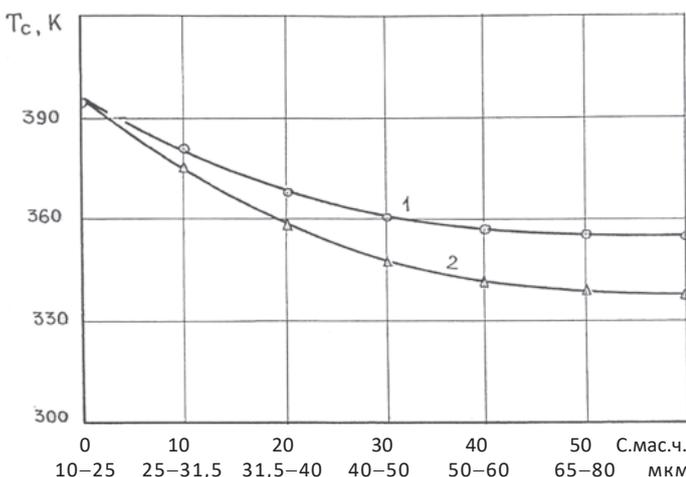


Рис. 4. Зависимость температуры стеклования эпоксидной композиции от размера частиц (1) и содержания (2) резинового порошка.

Анализ зависимости температуры стеклования от дисперсности и содержания резинового порошка в эпоксидной композиции показал (рис. 4), что на T_c оба фактора влияют идентично, т.е. с уменьшением дисперсности (увеличением размера частиц) T_c системы монотонно снижается и, начиная с размера частиц порошка 400–500 мкм, ощутимое изменение T_c не наблюдается.

Идентичная картина наблюдается и при увеличении содержания резинового порошка в системе до 40 мас.ч. – значительное снижение (на 70 К) T_c системы, а дальнейшее увеличение доли наполнителя не вызывает заметного изменения. Это обусловлено, по-видимому, тем, что большие размеры частиц и увеличение содержания резинового порошка не оказывают существенного влияния на гибкость эпоксидного связующего.

С увеличением содержания резинового порошка вероятность образования агрегации частиц наполнителя увеличивается. Это также приводит к тому, что с ростом концентрации наполнителя интенсивность снижения температуры стеклования падает.

На основе комплексных анализов полученных результатов исследования адгезивно-прочностных и вязкоупругих свойств материалов нами разработан ряд эффективных составов вибропоглощающих полимерных материалов с использованием резинового порошка.

В таблице 3 приведены составы и свойства разработанных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов, наполненных органоминеральными ингредиентами.

Как видно из таблицы 3, введение порошкообразного резинового наполнителя во всем диапазоне соотношений приводит к повышению вибропоглощающих и, соответственно, звукоизолирующих характеристик, а дальнейшее увеличение содержания резинового порошка и ДБФ вызывает снижение адгезионной прочности, ударной прочности и микротвёрдости композиций. Это обусловлено уменьшением плотности упаковки компонентов системы в целом. В связи с этим рекомендуется введение в эпоксидную композицию резинового порошка не более 40 мас.ч. и ДБФ-20 – 20 мас.ч.

Далее изучали возможность применения разработанных композиционных материалов в заводских условиях.

Изучение шума в цехах Пискентского и Букинского хлопкоочистительных заводов показало, что на многих участках технологического процесса шум на рабочих местах значительно превышает допустимые уровни.

На рис. 5 приведена шумовая характеристика джинов, применяемых на Пискентском и Букинском хлопкоочистительных заводах, до (1) и после (2) нанесения покрытия из разработанных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов.

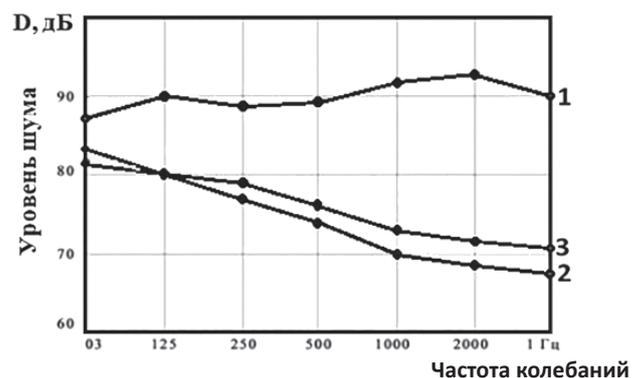


Рис. 5. Уровни звукового давления джина УМПД на Букинском и Пискентском хлопкоочистительных заводах. Уровень шума: 1 – до покрытия; 2 – после покрытия; 3 – допустимые нормы.

Уровень шума, создаваемого вентиляторами без покрытия, значительно превышает допустимый в октавной полосе 1000 Гц и составляет 21–22 дБ.

Столь сильное превышение уровня шума резко сокращает время пребывания рабочих в этих условиях [26].

Анализ условий работы машин и механизмов переработки хлопка-сырца показал, что уровень шума, создаваемого линтерами марки ПМП-160 и вентиляторами подачи хлопка-сырца в дженирование (наружное) превышает допустимые санитарные нормы СН 245-71 уровня шума и гигиенические нормы ГН 1004-73. Сравнительный анализ данных (рис. 5) показал, что суммарный уровень шума в джино-линтерном цеху после использования разработанных вибропоглощающих композиционных материалов ВПМ-ЭД-16 на вибрирующих элементах джинов в виде покрытия снизился на 21–22 дБ и составил 70 дБ при октавной полосе 1000 Гц.

Покрытие вибропоглощающим композиционным полимерным материалом ВПМ-ЭД-20 на «шумных» воздуховодах в очистительном цехе также позволило снизить уровень шума у рабочего места на 21–22 дБ. Снижение уровня шума позволило значительно улучшить условия работы в вышеуказанных цехах и получить экономический эффект не только от снижения уровня шума, но и от улучшения качества волокна.

Разработанный вибропоглощающий композиционный полимерный материал ВПМ-ЭД-20 был нанесен для снижения шума и

вибрации центробежных вентиляторов. Испытание показало, что вибродемпфирующее покрытие снизило уровень шума до 24 дБ. Также получен положительный эффект при покрытии вибропоглощающим композиционным полимерным покрытием ВПМ-ЭД-16 «шумного воздуховода». Причем покрытие вибропоглощающей композиционной части с повышенной ударной прочностью ВПМ-ЭИС-1 внутренней поверхности колена воздуховода позволило в 1,5–2 раза повысить его долговечность.

Выводы

Показано, что с увеличением содержания резинового порошка логарифмический декремент композиций сначала увеличивается (до 40 мас.ч.), затем снижается. Это обусловлено, по-видимому, некоторым ростом гибкости цепей связующего до 40 мас.ч. наполнителя.

Установлено, что эпоксидные полимеры имеют высокие адгезивно-прочностные свойства и хорошие вязкотекучие характеристики, а также технологичность, что позволяет получать эффективные вибропоглощающие композиционные полимерные материалы с введением в их состав органоминеральных ингредиентов.

Показано, что резиновый порошок, вводимый в эпоксидные полимеры в качестве наполнителя, оказывает пластифицирующее действие, и в результате этого снижается температура стеклования композиций и улучшаются их вибропоглощающие свойства.

Таким образом, варьированием вида, содержания и соотношения органоминеральных ингредиентов и эпоксидных компаундов можно разработать эффективные вибропоглощающие КПП с соответствующими адгезивно-прочностными свойствами для применения в рабочих органах машин и механизмов, способствующие повышению их работоспособности и эффективности и снижению уровня шума в производственных помещениях.

Литература

- Негматов С.С., Пак И.И. Демпфирующие свойства полимерных материалов и покрытий на их основе. УзИИИТИ, Ташкент, 1974. 16 с.
- Негматов С.С., Пак И.И. Применение полимерных композиционных покрытий в хлопкоуборочной машине. В сб. научных трудов ТашПИ. «Сельхозмашинь», вып. 329. Ташкент, 1982, с. 125–127.
- Писаренко Г.С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. Киев, Изд-во АН УССР, 1962.
- Jose J.P., Thomas S., Kuruvilla J., Malhotra S.K., Goda K., Sreekala M.S. Polymer Composites. Volume 1. Wiley; Weinheim, Germany: 2012. Advances in polymer composites: Macro- and microcomposites state of the art, new challenges, and opportunities. – pp. 3–16.
- Симонов-Емельянов И.Д. Обобщенные параметры дисперсной структуры наполненных полимеров. / И.Д. Симонов-Емельянов, Л.З. Трофимичева, В.Н. Кулезнев // Пластические массы, 1989, №1, с. 19–22.
- Полимерные композиционные материалы. Состав. Структура. Свойства. Под ред. акад. А.А. Берлина, гл. 7 «Технология получения дисперсно-наполненных пластических масс» / Симонов-Емельянов И.Д. – СПб.: Профессия. – 2009. – с. 314–354.
- Симонов-Емельянов И.Д. / Построение структур в дисперсно-наполненных полимерах и свойства композиционных материалов. // Пластические массы, 2015, №9–10, с. 29–36.
- Симонов-Емельянов И.Д. Обобщенные параметры структуры, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов со стеклянными шариками. / Апекусов Н.В., Зарубина А.Ю., Зубков С.Б., Симонов-Емельянов И.Д. // Пластические массы, 2012, №5, с. 52–57.
- Симонов-Емельянов И.Д. Структурообразование, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов. / Апекусов Н.В., Трофимов А.Н., Золкина И.Ю., Андреева Т.И., Петров О.О., Симонов-Емельянов И.Д. // Пластические массы. – 2012, №6, с. 7–13.
- Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердяев Ю.М. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. 232 с.
- Зайцев Ю.С., Кочергин Ю.С., Пактер М.К., Кучер Р.В. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции. – К.: Наукова Думка, 1990. – 200 с.
- Красовский А.Н., Новиков Д.В., Крашенинников В.А., Плотистый А.Б. и др. Кластерная модель агрегации эпоксидных олигомеров в растворах и структура покрытий на основе эпоксидных и эпоксифенольных смол. // ЖХП. 2001, Т. 74, вып. 1, с. 124–134.
- Рассоха А.Н. Реологические свойства растворов фурано-эпоксидных реакционноспособных олигомеров // Интеграції та енергозбереження, 2014, №1, с. 63–72.
- Ениколопов Н.С., Непомнящий А.И., Краснокутский В.И., Куракин Л.Н., Аюрян Л.Я., Негматов С.С., Маткаримов С.Х., Поливанов В.А., Шерстнев П.П., Павлов В.П. Способ получения порошка из каучука и продуктов его вулканизации. Патент №31249. Лондон, Англия, 1984; патент №4607796 Вашингтон, США, 1986.
- Негматов С.С., Умаров М.А., Маткаримов С.Х., Назирбеков Р.Х., Кобелов И.А. О возможности применения измельченных отходов резино-технических изделий в композиционных резинах. // Уз.хим. журнал, 1986, №2, с. 59.
- Вибродемпфирующий материал NOISEBUSTER [Электронный ресурс] / NOISEBUSTER, 2015. URL: <http://www.noisebuster-msk.ru/>. (Дата обращения: 15.03.2015).
- Пат. 2188214 Российская Федерация, МПК7 C08L95/00, B32B11/02, B60R13/08.
- Пат. 2235106 Российская Федерация, МПК7 C08L95/00, C08L23/22, C08L91/00, C08L93/00, C08K3/04, C08K7/18.
- Пат. 2285023 Российская Федерация, МПК C08L75/08 B32B27/40. Полимерная вибропоглощающая композиция и слоистый вибропоглощающий материал на ее основе / Сытый Ю.В., Кислякова В.И., Ананьев В.К. и др.; заявитель и патентообладатель ФГУП «ВИАМ» – № 2005103140/04; заявл. 09.02.05; опубл. 10.10.06, Бюл. №8. – 8 с.
- Пат. 2368630 Российская Федерация, МПК C08L95/00, C08K3/26. Виброшумопоглощающий листовый материал / Литус А.А., Сеницына И.Н., и др.; заявитель и патентообладатель Саратовский гос. тех. унив. – № 2008112756/04; заявл. 02.04.08; опубл. 27.09.09, Бюл. № 27. 7 с.
- Пат. 2375398 Российская Федерация, МПК C09D131/04. Вибропоглощающая мастика / Родионов А.Г., Волков В.Н., Капцан А.С.; заявитель и патентообладатель Родионов А.Г., Волков В.Н., Капцан А.С. – № 2007148964/04; заявл. 25.12.2007; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34. 14 с.
- Пат. 2408637 Российская Федерация, МПК C09D131/04. Вибропоглощающая мастика / Родионов А.Г., Корсаков В.Г., Дякин П.В., и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» – № 2009120256/05; заявл. 27.05.2009; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1. 8 с.
- Пат. 2456178 Российская Федерация, МПК B60R 13/08 B32B 11/00 B32B 25/00. Теплоизолирующий и вибропоглощающий листовый материал / Борисов И.Е., Пронин Р.А., Дерябин А.А. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «СГМ».
- Пат. на пол. модель RU 134170 U1 Российская Федерация, МПК C08L23/22, C09D117/00, B32B7/02, F16F15/02. Вибродемпфирующий блок / Воскун М.Д., Здорикова Г.А. и др.; заявитель ООО «Автопластик». – № 2013134657/04; заявл. 23.07.13; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31. 1 с.
- ISO 527-1:2012 Plastics-Determination of Tensile Properties – Part 1: General Principles. ISO; Geneva, Switzerland: 2012.
- Пак И.И., Негматов С.С. Экспериментальная установка для изучения демпфирующих свойств конструкционных пластмасс. В сб. материалов по итогам научно-исследовательских работ химико-технологического факультета ТашПИ за 1970 г., вып. №74, сер. хим., Ташкент, 1971.