

ВЛИЯНИЕ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПРОКЛАДOK РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, Е.В. Саломатина, А.Н. Матюнин

Евгений Николаевич Егоров (ORCID 0000-0003-1739-3122)*

Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015
E-mail: enegorov@mail.ru *

Николай Филиппович Ушмарин (ORCID 0000-0003-2967-0297)

Технический отдел по резинотехническим изделиям, Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева, ул. Социалистическая, 1, Чебоксары, Российская Федерация, 428006
E-mail: ushmarin@mail.ru

Евгения Владимировна Саломатина (ORCID 0000-0002-7480-1324)

Кафедра высокомолекулярных соединений и коллоидной химии, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, Российская Федерация, 603022
E-mail: salomatina_ev@mail.ru

Алексей Николаевич Матюнин (ORCID 0000-0001-9220-0162)

Кафедра электротехнологий, электрооборудования и автоматизированных производств, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015
E-mail: matyunin86@mail.ru

В статье исследовано влияние полиизобутилена марок П-85 и П-200 на вулканизационные (реометрические) характеристики резиновой смеси, физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства вулканизатов на основе комбинации каучуков общего назначения. Исследуемая резиновая смесь содержала комбинацию бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК, изопренового СКИ-3 и бутадиенового СКД каучуков, серу, N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид, тетраметилтиурамдисульфид, белила цинковые, стеариновую кислоту, ацетонанил Н, воск ЗВ-П, N-изопропил-N'-фенил-n-фенилендиамин, технический углерод N 220, полые корундовые микросферы НСМ-L и другие ингредиенты. Резиновую смесь изготавливали на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Первый (базовый) вариант резиновой смеси изготавливался без использования полиизобутилена. Второй – четвертый её варианты готовились с добавками полиизобутилена П-85, пятый – седьмой варианты – полиизобутилена П-200. Реометрические характеристики резиновой смеси изучали на реометре MDR 3000 Basic при 143 °С в течение 25 мин. Для определения физико-механических показателей резины стандартные образцы всех вариантов резиновой смеси вулканизовали при температуре 143 °С в течение 25 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD. Исследования физико-механических, эксплуатационных, диэлектрических свойств вулканизатов осуществлялись согласно существующим для резиновой промышленности стандартам. Показано, что увеличение содержания полиизобутиленов П-85 или П-200 в составе резиновой смеси приводит к улучшению стойкости вулканизатов после суточного термоокислительного старения на воздухе. По данным динамического механического анализа установлено, что резины, включающие по 30,0 мас. ч. полиизобутилены П-85 и П-200 на 100,0 мас. ч. каучуков, обладают наибольшим максимумом пика тангенса угла механических потерь, значения которых составляют 0,611 и 0,639 соответственно. Вулканизат, содержащий 30,0 мас. ч. полиизобутилена П-200 на 100,0 мас. ч. каучуков характеризуется стабильными упругопрочностными характеристиками, высокими диэлектрическими и хорошими вибропоглощающими свойствами.

Ключевые слова: резиновая смесь, полиизобутилен, реометрические, физико-механические, эксплуатационные, динамические свойства, удельное объемное электрическое сопротивление, тангенс угла механических потерь, прокладки рельсовых креплений

THE EFFECT OF POLYISOBUTYLENE ON PHYSICAL-MECHANICAL, OPERATIONAL, DIELECTRIC AND DYNAMIC PROPERTIES OF RUBBER FOR LAYING RAIL FASTENERS

E.N. Egorov, N.F. Ushmarin, E.V. Salomatina, A.N. Matyunin

Evgeniy N. Egorov (ORCID 0000-0003-1739-3122) *

Department of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 15, Cheboksary, 428015, Russia
E-mail: enegorov@mail.ru *

Nikolay F. Ushmarin (ORCID 0000-0003-2967-0297)

Technical Department for Rubber Products, Cheboksary Production association named after V.I. Chapaev, Socialist st., 1, Cheboksary, 428006, Russia
E-mail: ushmarin@mail.ru

Evgenia V. Salomatina (ORCID 0000-0002-7480-1324)

Department of Macromolecular Compounds and Colloidal Chemistry, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Gagarin ave., 23, Nizhny Novgorod, 603022, Russia
E-mail: salomatina_ev@mail.ru

Aleksey N. Matyunin (ORCID 0000-0001-9220-0162)

Department of Electrical Technologies, Electrical Equipment and Automated Manufacturing, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 15, Cheboksary, 428015, Russia
E-mail: matyunin86@mail.ru

The article investigates the effect of polyisobutylene grades P-85 and P-200 on the vulcanization (rheometric) characteristics of a rubber mixture, physical-mechanical, operational, dielectric and dynamic properties of vulcanizates based on a combination of general-purpose rubbers. The investigated rubber mixture contained a combination of butadiene-methylstyrene SKMS-30ARK, isoprene SKI-3 and butadiene SKD rubbers, sulfur, N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide, tetramethylthiuram disulfide, zinc white, N-stearic acid, N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine, carbon black N 220, hollow corundum microspheres HCM-L and other ingredients. The rubber mixture was made on laboratory rolls LB 320 160/160. The first (basic) version of the rubber mixture was manufactured without the use of polyisobutylene. The second - the fourth version of it was prepared with the addition of polyisobutylene P-85, the fifth - seventh version - polyisobutylene P-200. The rheometric characteristics of the rubber mixture were studied on an MDR 3000 Basic rheometer at 143 °C for 25 min. To determine the physical-mechanical properties of rubber, standard samples of all variants of the rubber mixture were vulcanized at a temperature of 143 °C for 25 min in a vulcanization press of the P-V-100-3RT-2-PCD type. Studies of the physical-mechanical, operational, dielectric properties of vulcanizates were carried out in accordance with the standards existing for the rubber industry. It is shown that an increase in the content of polyisobutylenes P-85 or P-200 in the rubber mixture leads to an improvement in the resistance of vulcanizates after 24 h thermal oxidative aging in air. According to dynamic mechanical analysis, it was found that rubbers containing 30.0 wt. including polyisobutylenes P-85 and P-200 per 100.0 phr including rubbers, have the largest maximum peak of the tangent of the angle of mechanical losses, the values of which are 0.611 and 0.639, respectively. Vulcanizate containing 30.0 phr including polyisobutylene P-200 per 100.0 phr including rubbers is characterized by stable elastic-strength characteristics, high dielectric and good vibration-damping properties.

Key words: rubber mixture, polyisobutylene, rheometric, physical-mechanical, operational, dynamic properties, specific volumetric electrical resistance, tangent of mechanical loss angle, rail fastening gaskets

Для цитирования:

Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Саломатина Е.В., Матюнин А.Н. Влияние полиизобутилена на физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства резины для прокладок рельсовых скреплений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 94–102

For citation:

Egorov E.N., Ushmarin N.F., Salomatina E.V., Matyunin A.N. The effect of polyisobutylene on physical-mechanical, operational, dielectric and dynamic properties of rubber for laying rail fasteners. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 5. P. 94–102

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из важных проблем современного железнодорожного рельсового транспорта является понижение вибрации, которая передается в окружающую среду в виде механического шума при движении состава [1-6]. Шум от железнодорожного транспорта является угрозой для здоровья, а также причиной беспокойства и дискомфорта людей [7-11]. Для решения этой проблемы используются резиновые прокладки рельсовых скреплений [12-14]. Эти прокладки изготавливаются с использованием функциональных ингредиентов направленного действия, которые позволяют повысить шумопоглощающие и вибродемпфирующие свойства резины. Повышение вибродемпфирующих свойств резин достигается путем подбора оптимальной полимерной основы. Модификация каучуков и их комбинация с полимерами другой природы и структуры является одним из перспективных путей создания композиционных материалов с улучшенными вибродемпфирующими свойствами [15-17]. Эти свойства повышаются при введении в состав резины ингредиентов, способных рассеивать механическую энергию колебаний путем ее перевода в тепловую [18, 19]. Одним из таких ингредиентов является полиизобутилен (ПИБ), который обладает повышенной водостойкостью [20, 21], а также стойкостью к действию кислот и щелочей [22, 23]. Добавка ПИБ к другим каучукам или полимерам иной природы в составе композитов приводит к повышению их диэлектрических свойств [21, 24], а в некоторых случаях улучшает стойкость резин к термоокислительному старению [20, 25, 26].

Исследованию ПИБ в различных композиционных материалах посвящено множество работ. Так, в [27-29] рассмотрено влияние ПИБ на демпфирующие характеристики композитов на основе бутилкаучука БК-1675Н. Показано, что введение ПИБ приводит к значительному улучшению демпфирующих свойств (повышению тангенса угла механических потерь) композитов, содержащих бутилкаучук. В работах [30-34] установлено, что

включение ПИБ в состав полиуретановых эластомеров сопровождается также увеличением коэффициента механических потерь этих композиционных материалов. В связи с этим, представляет интерес исследовать влияние ПИБ на реометрические, физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические показатели резины на основе каучуков общего назначения (изопренового СКИ-3, бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК и бутадиенового СКД) с серной вулканизирующей системой, применяемой для изготовления прокладок рельсовых скреплений.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Основой исследуемой резиновой смеси служила комбинация бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК, изопренового СКИ-3 и бутадиенового СКД каучуков, которая включала вулканизирующий агент – серу; ускоритель вулканизации – Vulkacit CZ/C (Lanxess, Германия) (N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид), тетраметилтиурамдисульфид; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеариновую кислоту; противостарители – Vulkanox 4010 NA/LG (Lanxess, Германия) (N-изопропил-N'-фенил-n-фенилендиамин), ацетонанил Н (полимеризованный 2,2,4-триметил-1,2-дигидрохинолин – продукт конденсации ацетона с анилином), воск ЗВ-II; наполнители – технический углерод N 220, полые корундовые микросферы НСМ-L с размером частиц от 70 до 180 мкм; диспергатор микросфер НСМ-L в каучуковой матрице – гепсол ХКП (сополимер на основе гексахлор-n-ксиллола и хлорированного парафина); мягчитель – канифоль. Исследуемые ПИБ марок П-85 и П-200 (ГОСТ 13303-86) представляют собой эластичный каучукоподобный продукт с молекулярной массой (7-9)·10⁴ и (18-22)·10⁴ соответственно.

Первый (базовый) вариант резиновой смеси изготавливался без использования ПИБ. Второй – четвертый ее варианты готовились с добавками 10,0; 20,0 и 30,0 мас. ч. П-85, а пятый – седьмой варианты – с 10,0; 20,0 и 30,0 мас. ч. П-200 на 100,0 мас. ч. каучуков.

Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при максимально одинаковых условиях: температуре валков вальцев

(60–70 °С), последовательности ввода ингредиентов в матрицу каучуков, цикле смешения (20 мин). Вулканизационные (реометрические) свойства резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic фирмы «Mon Tech» при 143 °С в течение 40 мин в соответствии с ГОСТ 12535-84. Стандартные образцы всех вариантов резиновой смеси для определения физико-механических показателей вулканизовали при температуре 143 °С в течение 25 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD.

Основные характеристики вулканизатов определяли согласно действующим в резиновой промышленности стандартам: упруго-прочностные свойства определяли по ГОСТ 270-75; твердость по Шору А – по ГОСТ 263-75; сопротивление раздиру – по ГОСТ 262-79; истираемость – по ГОСТ 426-77; относительную остаточную деформацию сжатия – по ГОСТ 9.029-74; изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости после термического старения на воздухе – по ГОСТ 9.024-74; изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости после воздействия агрессивных углеводородных сред – по ГОСТ 9.030-74 (метод В); изменение массы после выдержки в агрессивных средах – по ГОСТ 9.030-74 (метод А). Диэлектрические свойства (удельное объемное электрическое сопротивление) вулканизатов исследовали на термометре Е6-13А при напряжении 100 В в интервале температур от 23 до 60 °С согласно ГОСТ 6433.2-71. Динамические параметры (модуль упругости, тангенс угла механических потерь) вулканизатов (образцов длиной 30 мм, шириной 10 мм и толщиной 2 мм) изучали на динамическом механическом анализаторе DMA 242 E Artemis фирмы Netzsch в интервале температур от –70 до 70 °С при скорости нагрева 2 °С/мин, частоте колебаний 1 Гц, амплитуде 40 мкм, силе, действующей на образец, 12 Н в режиме деформации «трехточечный изгиб».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные варианты резиновой смеси, содержащие ПИБ П-85 и П-200, их вулканизационные характеристики, а также физико-механические и эксплуатационные свойства вулканизатов представлены в таблице.

Как видно из результатов исследований вулканизационных свойств (см. таблицу), увеличение содержания ПИБ П-85 в резиновой смеси приводит к уменьшению показателей максимального и минимального крутящих моментов и их разности (ΔM) по сравнению с базовым (первым) вариантом смеси. Это, вероятно, обусловлено с тем, что ПИБ

П-85 в составе резиновой смеси проявляет пластифицирующее действие. При этом наблюдается возрастание времен начала и оптимума вулканизации резиновой смеси, включающей П-85. Данный эффект способствует улучшению технологических свойств смеси (перерабатываемости методами каландрования – технологической операции изготовления заготовок резиновой смеси для вулканизации с последующим получением готовых рельсовых прокладок). Аналогичное явление (уменьшение величин минимального и максимального крутящих моментов, ΔM , увеличение времен начала и оптимума вулканизации) наблюдается и для резиновой смеси, содержащей ПИБ П-200. Следует отметить, что величина ΔM прямо пропорциональна химической степени сшивания вулканизата [35, 36]. В связи с этим вулканизаты четвертого и седьмого вариантов резиновой смеси, содержащие по 30,0 мас. ч. ПИБ П-85 и П-200 на 100,0 мас. ч. каучуков, соответственно, должны обладать наименьшей степенью сшивания, а, следовательно, характеризоваться меньшими показателями прочностных свойств по сравнению с резиной, не содержащей ПИБ. Результаты исследования физико-механических свойств подтверждают высказанное предположение: вулканизаты, содержащие ПИБ П-85 и П-200, обладают меньшими значениями условного напряжения при 100%-ном удлинении, условной прочности при растяжении, твердости и сопротивления раздиру по сравнению с вулканизатом базового варианта резиновой смеси. Это, вероятно, обусловлено тем, что ПИБ будет сорбироваться на наполнителе и экранировать его поверхность от взаимодействия с макромолекулами каучуков. При этом происходит возрастание показателей относительного удлинения при разрыве, относительной остаточной статической деформации сжатия (ОДС) и истираемости вулканизатов. По-видимому, это связано также с уменьшением вязкости резиновой смеси при увеличении содержания в ее составе П-85 и П-200, что подтверждается значениями минимального крутящего момента, который косвенно характеризует вязкость смеси.

В дальнейшем нами изучались эксплуатационные свойства, а, именно, изменения физико-механических свойств вулканизатов после термоокислительного старения в воздухе и воздействия стандартной нефтяной жидкости СЖР-1 при температуре 100 °С в течение 24 ч и массы резины после суточной экспозиции в масле промышленном И-20А и воде при комнатной температуре, результаты исследований которых приведены в таблице.

Варианты и свойства резиновой смеси и физико-механические, эксплуатационные характеристики вулканизатов

Table. Variants and properties of the rubber compound and physical-mechanical, performance characteristics of vulcanizates

Ингредиент, показатель	Варианты резиновой смеси						
	1	2	3	4	5	6	7
Полиизобутилен П-85, мас. ч.	-	10,0	20,0	30,0	-	-	-
Полиизобутилен П-200, мас. ч.	-	-	-	-	10,0	20,0	30,0
Вулканизационные характеристики резиновой смеси при 143 °С							
M_L , дН·м	5,11	4,56	3,97	3,63	4,60	4,06	3,76
M_H , дН·м	29,31	24,25	20,81	17,28	25,17	21,12	17,76
ΔM , дН·м	24,20	19,69	16,84	13,65	20,57	17,06	14,00
t_s , мин	4,29	4,72	5,01	5,65	4,57	4,81	5,31
t_{90} , мин	20,35	20,78	21,34	21,61	20,42	20,53	21,16
Физико-механические свойства вулканизатов (режим вулканизации 143 °С×25 мин)							
f_{100} , МПа	4,7±0,2	3,9±0,2	3,3±0,2	2,6±0,1	4,1±0,2	3,7±0,2	3,2±0,2
f_p , МПа	19,6±0,9	16,6±0,9	16,2±0,8	15,5±0,8	17,7±0,9	16,5±0,8	16,0±0,8
ϵ_p , %	450±23	470±24	480±24	500±25	460±23	480±24	490±25
H , ед. Шор А	76±1	73±1	71±1	69±1	74±1	72±1	71±1
B , кН·м ⁻¹	47±2	45±2	42±2	40±2	46±2	43±2	42±2
ОДС при 30% сжатии (100 °С×24 ч), %	17,0±0,5	17,7±0,5	19,4±0,6	21,6±0,6	16,4±0,5	18,3±0,5	21,1±0,6
α , м ³ ·ТДж ⁻¹	56,3±2,8	67,8±3,4	79,2±3,9	87,1±4,3	65,1±3,2	73,1±3,6	85,6±4,3
Изменение свойств вулканизатов после старения в воздухе (100 °С×24 ч)							
Δf_p , %	-19,4±0,9	-20,6±1,0	-17,3±0,8	-14,7±0,7	-18,8±0,9	-15,2±0,7	-13,1±0,6
$\Delta \epsilon_p$, %	-24,0±1,2	-21,5±1,1	-16,5±0,8	-15,9±0,8	-18,5±0,9	-17,2±0,9	-14,5±0,7
ΔH , ед. Шор А	+2±1	+1±1	+2±1	+1±1	+2±1	+1±1	+1±1
Изменение свойств вулканизатов после воздействия СЖР-1 (100 °С×24 ч)							
Δf_p , %	-37,9±1,9	-40,7±2,0	-43,2±2,2	-46,6±2,3	-38,7±1,9	-40,1±2,0	-43,9±2,2
$\Delta \epsilon_p$, %	-39,7±1,9	-36,6±1,8	-42,1±2,1	-44,0±2,2	-34,4±1,7	-39,8±2,0	-42,2±2,1
ΔH , ед. Шор А	-19±1	-20±1	-19±1	-21±1	-18±1	-19±1	-19±1
Изменение массы вулканизатов после воздействия агрессивных сред (23 °С×24 ч)							
Δm (масло И-20А), %	3,71±0,11	3,97±0,12	4,11±0,12	4,26±0,13	3,84±0,12	4,06±0,12	4,18±0,13
Δm (вода), %	0,34±0,01	0,29±0,01	0,26±0,01	0,23±0,01	0,23±0,01	0,21±0,01	0,17±0,01

Примечание: M_H – максимальный крутящий момент; M_L – минимальный крутящий момент; ΔM – разность максимального и минимального крутящих моментов; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; f_{100} – условное напряжение при 100%-ном удлинении; f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; B – сопротивление раздиру; ОДС – относительная остаточная статическая деформация сжатия; α – истираемость; Δf_p , $\Delta \epsilon_p$, Δm – относительное изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и массы; ΔH – разность твердостей резины после и до выдержки в агрессивной среде

Note: M_H is the maximum torque; M_L is the minimum torque; ΔM is the difference between the maximum and minimum torques; t_s is the start time of vulcanization; t_{90} is the optimal vulcanization time; f_{100} - conditional stress at 100% elongation; f_p - conditional tensile strength; ϵ_p - relative elongation at break; H - hardness; B - tear resistance; RDS - relative residual static compression strain; α - abrasion; Δf_p , $\Delta \epsilon_p$, Δm - relative change in conditional tensile strength, relative elongation at break and mass; ΔH is the difference in rubber hardness after and before exposure to an aggressive environment

Из данных таблицы следует, что увеличение содержания ПИБ П-85 в составе резиновой смеси способствует улучшению стойкости к тепловому воздействию вулканизатов в воздухе вследствие очень малой неопределенности ПИБ по сравнению с резиной, не содержащей ПИБ. Аналогичная особенность термоокислительного поведения в

воздухе наблюдается и для вулканизатов с П-200. Сравнение изменений упруго-прочностных характеристик после термического воздействия вулканизатов, содержащих ПИБ, показывает, что резина, включающая П-200, характеризуется лучшей стойкостью к термическому старению на воздухе, чем вулканизат с П-85. Вулканизаты, содержащие П-85

и П-200, характеризуются меньшей стабильностью к воздействию агрессивных углеводородных сред (стандартной жидкости СЖР-1 и масла индустриального И-20А) по сравнению с вулканизатом базового варианта резиновой смеси. Возрастание количества П-85 и П-200 в составах резиновой смеси способствует понижению массы вулканизатов после суточной экспозиции в воде при комнатной температуре. Наименьшими изменениями массы образцов после выдержки в воде характеризуется вулканизат седьмого варианта резиновой смеси. По-видимому, это обусловлено высокой гидролитической стабильностью ПИБ П-200 по сравнению с П-85.

Следует отметить, что прокладки рельсовых скреплений используются для предотвращения ответвления электрического тока (электроизоляции) на смежные рельсы. В связи с этим нами исследовано влияние ПИБ П-85 и П-200 на диэлектрические свойства вулканизатов. На рис. 1 и 2 представлены зависимости удельного объемного электрического сопротивления ρ_v вулканизатов, содержащих П-85 и П-200, от температуры.

Как видно из рис. 1 и 2, вулканизаты четвертого и седьмого вариантов резиновой смеси, содержащие 30,0 мас. ч. П-85 и П-200 соответственно на 100,0 мас. ч. каучуков, характеризуются большими величинами ρ_v . Нами также были определены значения удельного объемного электрического сопротивления вулканизатов при повышенных до 60 °С температурах.

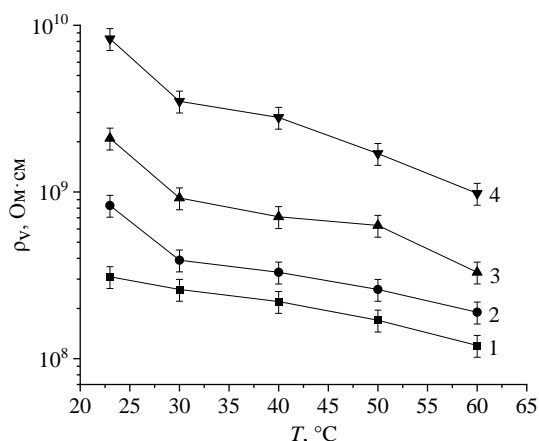


Рис. 1. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления вулканизатов, содержащих ПИБ П-85, от температуры (номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси в таблице)

Fig. 1. Dependence of the specific volumetric electrical resistance of vulcanizates containing PIB P-85 on temperature (the curve numbers correspond to the numbers of the rubber compound variants in the table)

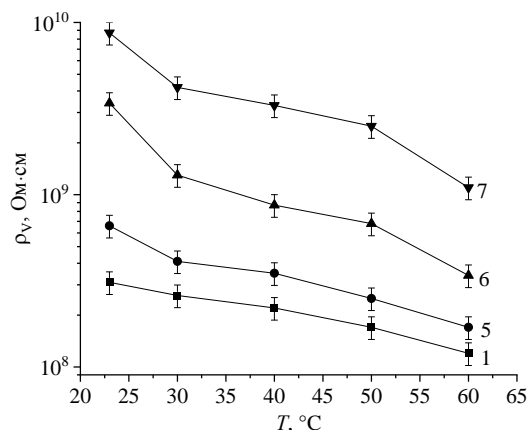


Рис. 2. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления вулканизатов, содержащих ПИБ П-200, от температуры (номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси в таблице)

Fig. 2. Dependence of the specific volumetric electrical resistance of vulcanizates containing PIB P-200 on temperature (the curve numbers correspond to the numbers of the rubber compound variants in the table)

Как видно из рис. 1 и 2, с возрастанием температуры значения ρ_v вулканизатов уменьшаются вследствие увеличения подвижности свободных зарядов под влиянием флуктуации теплового движения. Наибольшими значениями ρ_v при комнатной и повышенных температурах обладает вулканизат седьмого варианта резиновой смеси. Таким образом, резина, включающая 30,0 мас. ч. полиизобутилена П-200, характеризуется высокими диэлектрическими свойствами.

Количественной мерой оценки динамических свойств полимерных материалов, в том числе резин, являются величины тангенса угла механических потерь ($tg\delta$) и модуля упругости (E') [37, 38]. В связи с этим методом динамического механического анализа (ДМА) были определены величины $tg\delta$ и E' вулканизатов изучаемых вариантов смеси при частоте 1 Гц. На рис. 3 и 4 приведены кривые температурных зависимостей E' и $tg\delta$ вулканизатов, содержащих соответственно П-85 и П-200.

Как видно из рис. 3, увеличение содержания П-85 в резиновой смеси способствует возрастанию максимума пика на кривой тангенса угла механических потерь и уменьшению модуля упругости вулканизата. Причем, вулканизат четвертого варианта обладает наибольшим значением $tg\delta$ в точке максимума ($tg\delta_{max} = 0,611$). Подобное наблюдается и для вулканизатов, включающих П-200 (рис. 4). Из рис. 4 следует, что повышение содержания П-200 в составе смеси приводит также возрастанию максимума пика $tg\delta$ и уменьшению E' .

Как известно [39–41], с повышением тангенса угла механических потерь полимеров (резин) увеличиваются их звукопоглощающие и вибродемпфирующие свойства. Наибольшим значением ($\text{tg}\delta_{\text{max}} = 0,639$) и наименьшей величиной E' , а, следовательно, лучшими вибропоглощающими свойствами, обладает вулканизат седьмого варианта резиновой смеси.

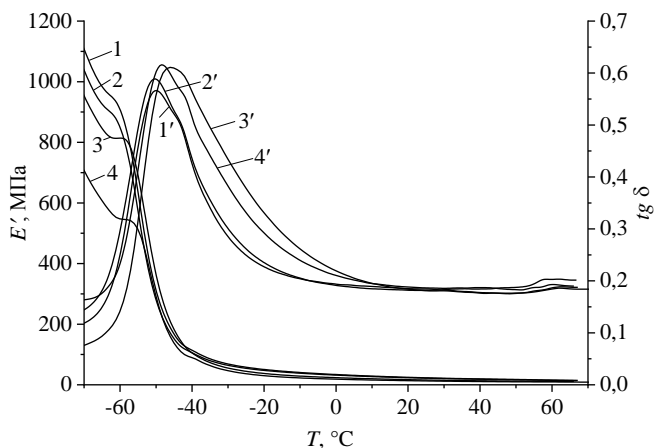


Рис. 3. Температурные зависимости модуля упругости (1–4) и тангенса угла механических потерь (1'–4') вулканизатов, содержащих П-85 (номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси в таблице)

Fig. 3. Temperature dependences of the modulus of elasticity (1–4) and the tangent of the angle of mechanical losses (1'–4') of vulcanizates containing P-85 (the curve numbers correspond to the numbers of the rubber compound variants in the table)

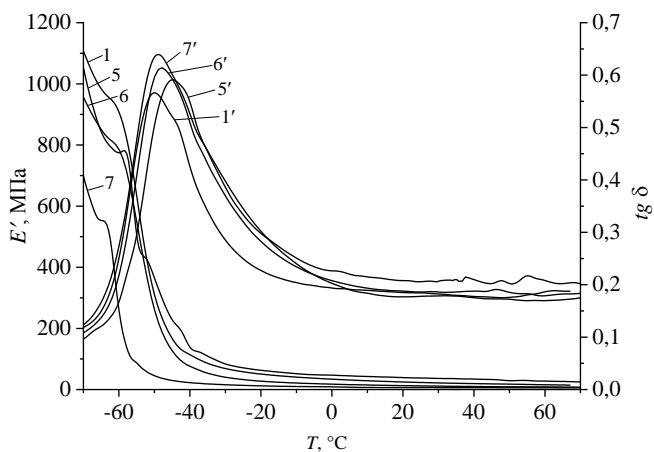


Рис. 4. Температурные зависимости модуля упругости (1, 5–7) и тангенса угла механических потерь (1', 5'–7') вулканизатов, содержащих П-200 (номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси в таблице)

Fig. 4. Temperature dependences of the modulus of elasticity (1, 5–7) and the tangent of the angle of mechanical losses (1', 5'–7') of vulcanizates containing P-200 (the curve numbers correspond to the numbers of the rubber compound variants in the table)

Таким образом, изучено влияние количества ПИБ марок П-85 и П-200, вводимых в состав

резиновой смеси, на ее реометрические показатели, физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства вулканизатов на основе комбинации бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК, изопренового СКИ-3 и бутадиенового СКД каучуков. Вулканизаты, содержащие вышеперечисленные ПИБ, характеризуются стабильными физико-механическими показателями и меньшими изменениями массы после точной экспозиции при 23 °С в воде. Резина, содержащая 30,0 мас. ч. П-200 на 100,0 мас. ч. каучуков, по физико-механическим свойствам и показателю удельного объемного электрического сопротивления соответствует требованиям ГОСТ 34078-2017 «Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути», обладает повышенными диэлектрическими и вибропоглощающими свойствами и может быть использована в качестве основы для изготовления прокладок рельсовых скреплений железнодорожных путей.

ВЫВОДЫ

Изучено влияние ПИБ П-85 и П-200 на вулканизационные характеристики резиновой смеси и физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства резины, предназначенной для изготовления рельсовых прокладок. Установлено, что резина на основе комбинации каучуков СКМС-30АРК : СКИ-3 : СКД = 40,0 : 50,0 : 10,0 мас. ч., содержащая 30,0 мас. ч. П-200, обладает лучшими вибродемпфирующими и диэлектрическими свойствами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Динамический механический анализ исследуемых вулканизатов выполнен с использованием оборудования ЦКП «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Dynamic mechanical analysis of the investigated vulcanizates was carried out on the equipment of the Collective Usage Center «New Materials and Resource-saving Technologies» (Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА
REFERENCES

- Kaewunruen S., Remennikov A.M.** Current state of practice in railway track vibration isolation: an Australian overview. *Austral. J. Civil Eng.* 2016. V. 14. N 1. P. 63-71. DOI: 10.1080/14488353.2015.1116364.
- Thompson D.J., Kouroussis G., Ntotsios E.** Modelling, simulation and evaluation of ground vibration caused by rail vehicles. *Vehicle Syst. Dynam.* 2019. V. 57. N 7. P. 936-983. DOI: 10.1080/00423114.2019.1602274.
- Đungel J., Zvolenský P., Grenčík J., Leštinský L., Krivda J.** Localization of Increased Noise at Operating Speed of a Passenger Wagon. *Sustainability.* 2021. V. 13. N 2. P. 453. DOI: 10.3390/su13020453.
- Vogiatzis K.E., Kouroussis G.** Environmental Ground-Borne Noise and Vibration from Urban Light Rail Transportation During Construction and Operation. *Curr. Pollut. Rep.* 2017. V. 3. N 2. P. 162-173. DOI: 10.1007/s40726-017-0059-3.
- Fan R., Meng G., Yang J., He C.** Experimental study of the effect of viscoelastic damping materials on noise and vibration reduction within railway vehicles. *J. Sound Vibration.* 2009. V. 319. N 1-2. P. 58-76. DOI: 10.1016/j.jsv.2008.03.071.
- Zhao C., Wang P., Yi Q.** Internal noise reduction in railway vehicles by means of rail grinding and rail dampers. *Noise Control Eng. J.* 2017. V. 65. N 1. P. 1-13. DOI: 10.3397/1/376421.
- Fyhri A., Aasvang G.M.** Noise, sleep and poor health: Modeling the relationship between road traffic noise and cardiovascular problems. *Sci. Total Environ.* 2010. V. 408. N 21. P. 4935-4942. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.06.057.
- Araújo Alves J., Neto Paiva F., Torres Silva L., Remoaldo P.** Low-Frequency Noise and Its Main Effects on Human Health – A Review of the Literature between 2016 and 2019. *Appl. Sci.* 2020. V. 10. N 15. P. 5205. DOI: 10.3390/app10155205.
- Ögren M., Gidlöf-Gunnarsson A., Smith M., Gustavsson S., Persson Wayne K.** Comparison of Annoyance from Railway Noise and Railway Vibration. *Internat. J. Environ. Res. Publ. Health.* 2017. V. 14. N 7. P. 805. DOI: 10.3390/ijerph14070805.
- Peris E., Woodcock J., Sica G., Sharp C., Moorhouse A.T., Waddington D.C.** Guidance for new policy developments on railway noise and vibration. *Transport. Res. Pt. A: Policy Practice.* 2016. V. 85. P. 76-88. DOI: 10.1016/j.tra.2016.01.004.
- Smith M.G., Croy I., Ögren M., Hammar O., Lindberg E., Persson Wayne K.** Physiological effects of railway vibration and noise on sleep. *J. Acoust. Soc. Am.* 2017. V. 141. N 5. P. 3262-3269. DOI: 10.1121/1.4983302.
- Sol-Sánchez M., Moreno-Navarro F., Rubio-Gámez M.C.** The use of deconstructed tire rail pads in railroad tracks: Impact of pad thickness. *Mater. Design.* 2014. V. 58. P. 198-203. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.01.062.
- Indraratna B., Qi Y., Ngo T., Rujikiatkamjorn C., Neville T., Ferreira F., Shahkolahi A.** Use of Geogrids and Recycled Rubber in Railroad Infrastructure for Enhanced Performance. *Geosciences.* 2019. V. 9. N 1. P. 30. DOI: 10.3390/geosciences9010030.
- Sadeghi J., Seyedkazemi M., Khajehdezfuly A.** Nonlinear simulation of vertical behavior of railway fastening system. *Eng. Struct.* 2020. V. 209. P. 110340. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.1103.
- Zhang J., Wang L., Zhao Y.** Fabrication of novel hindered phenol/phenol resin/nitrile butadiene rubber hybrids and their long-period damping properties. *Polym. Compos.* 2012. V. 33. N 12. P. 2125-2133. DOI: 10.1002/pc.22352.
- Roche N., Ichchou M.N., Salvia M., Chettah A.** Dynamic Damping Properties of Thermoplastic Elastomers Based on EVA and Recycled Ground Tire Rubber. *J. Elastomers and Plastics.* 2011. V. 43. N 4. P. 317-340. DOI: 10.1177/0095244311398631.
- Wang, Y., Cao, R., Wang, M., Liu, X., Zhao, X., Lu, Y., Feng A., Zhang L.** Design and synthesis of phenyl silicone rubber with functional epoxy groups through anionic copolymerization and subsequent epoxidation. *Polymer.* 2020. V. 186. P. 122077. DOI: 10.1177/0095244311398631.
- Sheng Z., Yang S., Wang J., Lu Y., Tang K., Song S.** Preparation and Properties Analysis of Chlorinated Butyl Rubber (CIIR)/Organic Diatomite Damping Composites. *Materials.* 2018. V. 11. N 11. P. 2172. DOI: 10.3390/ma11112172.
- Zhou X.Q., Yu D.Y., Shao X.Y., Zhang S.Q., Wang S.** Research and applications of viscoelastic vibration damping materials: A review. *Compos. Struct.* 2016. V. 136. P. 460-480. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.10.014.
- Jewrajka S.K., Yilgor E., Yilgor I., Kennedy J.P.** Polyisobutylene-Based Segmented Polyureas. I. Synthesis of Hydrolytically and Oxidatively Stable Polyureas. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2009. V. 47. N 1. P. 38-48. DOI: 10.1002/pola.23118.
- Kang J., Erdodi G., Kennedy J.P.** Polyisobutylene-Based Polyurethanes with Unprecedented Properties and How They Came About. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2011. V. 49. N 18. P. 3891-3904. DOI: 10.1002/pola.24839.
- Parada C.M., Parker G.L., Storey R.F.** Polyisobutylene Containing Covalently Bound Antioxidant Moieties. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2019. V. 57. N 17. P. 1836-1846. DOI: 10.1002/pola.29457.
- Jewrajka S.K., Kang J., Erdodi G., Kennedy J.P., Yilgor E., Yilgor I.** Polyisobutylene-Based Polyurethanes. II. Polyureas Containing Mixed PIB/PTMO Soft Segments. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2009. V. 47. N 11. P. 2787-2797. DOI: 10.1002/pola.23361.
- Wu J., Huang G., Wang X., He X., Zheng J.** Detecting different modes of molecular motion in polyisobutylene and chlorinated butyl rubber by using dielectric probes. *Soft Matter.* 2011. V. 7. N 19. P. 9224-9230. DOI: 10.1039/c1sm05748k.
- Alves J.B., Vasconcelos M.K., Mangia L.H.R., Tatagiba M., Fidalgo J., Campos D., Invernici P.L., Rebouças M.V., Andrade M.H.S., Pinto J.C.** A Bibliometric Survey on Polyisobutylene Manufacture. *Processes.* 2021. V. 9. N 8. P. 1315. DOI: 10.3390/pr9081315.
- Pazur R.J.** Activation energy of poly(isobutylene) under thermo-oxidative conditions from 40 to 100 °C. *Polym. Degrad. Stabil.* 2014. V. 104. P. 57-61. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.03.028.
- Xia L., Li C., Zhang X., Wang J., Wu H., Guo S.** Effect of chain length of polyisobutylene oligomers on the molecular motion modes of butyl rubber: Damping property. *Polymer.* 2018. V. 141. P. 70-78. DOI: 10.1016/j.polymer.2018.03.009.
- Shen M., Xia L., Feng Q., Zhang J., Li J., Guo S.** Damping characteristics of a multilayered constrained beam using viscoelastic butyl rubber layer with wide temperature range. *Mater. Express.* 2021. V. 11. N 3. P. 372-380. DOI: 10.1166/mex.2021.1920.
- Pochivalov K.V., Shilov A.N., Lebedeva T.N., Ilyasova A.N., Golovanov R.Y., Basko A.V., Kudryavtsev Y.V.** Development of vibration damping materials based on butyl rubber: A study of the phase equilibrium, rheological, and dynamic properties of compositions. *J. Appl. Polym. Sci.* 2021. V. 138. N 13. P. 50196. DOI: 10.1002/app.50196.

30. **Jia J., Lin P., Liu Q.** Morphology and properties of high molecular weight polyisobutylene and thermoplastic polyurethane elastomer. *J. Appl. Polym. Sci.* 2022. V. 139. N 2. P. 51466. DOI: 10.1002/app.51466.
31. **Nugay N., Nugay T., Kennedy J.P.** Minor Amounts of Glycerol Improve the Properties of Polyisobutylene-Based Polyurethane and Its Nanocomposites. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2019. V. 7. N 8 P. 929-935. DOI: 10.1002/pola.29346.
32. **Toth K., Nugay N., Kennedy J.P.** Polyisobutylene-based polyurethanes: VII. structure/property investigations for medical applications. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2016. V. 54. N 4. P. 532-543. DOI: 10.1002/pola.27804.
33. **Toth K., Nugay N., Kennedy J.P.** Polyisobutylene-based polyurethanes. IX. synthesis, characterization, and properties of polyisobutylene-based poly(urethane-ureas). *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2016. V. 54. N 15. P. 2361-2369. DOI: 10.1002/pola.28109.
34. **Nugay N., Nugay T., Kennedy J.P.** Minute amounts of organically modified montmorillonite improve the properties of polyisobutylene-based polyurethanes. *J. Polym. Sci., Pt. A: Polym. Chem.* 2013. V. 51. N 19. P. 4076-4087. DOI: 10.1002/pola.26814.
35. **Saeoui P., Sirisinha C., Wantana T., Hatthapanit K.** Influence of silica loading on the mechanical properties and resistance to oil and thermal aging of CR/NR blends. *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. V. 104. N 5. P. 3478-3483. DOI: 10.1002/app.26139.
36. **Mansilla M.A., Marzocca A.J., Macchi C., Somoza A.** Influence of vulcanization temperature on the cure kinetics and on the microstructural properties in natural rubber/styrene-butadiene rubber blends prepared by solution mixing. *Eur. Polym. J.* 2015. V. 69. P. 50-61. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.05.025.
37. **Ago M., Jakes J.E., Rojas O.J.** Thermomechanical Properties of Lignin-Based Electrospun Nanofibers and Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals: A Dynamic Mechanical and Nanoindentation Study. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2013. V. 5. N 22. P. 11768-11776. DOI: 10.1021/am403451w.
38. **Lu Y.C., Shinozaki D.M.** Temperature Dependent Viscoelastic Properties of Polymers Investigated by Small-Scale Dynamic Mechanical Analysis. *Experim. Mech.* 2010. V. 50. N 1. P. 71-77. DOI: 10.1007/s11340-008-9215-4.
39. **Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I., Voronchikhin V.D.** Investigation of the dynamic properties of seawater-resistant rubber. *J. Siberian Fed. Univ. Chem.* 2021. V. 14. N 1. P. 38-44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
40. **Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И.** Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 11. С. 96-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307. **Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Research of operational and dynamic properties of rubber for products working in sea water. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 11. P. 96-102 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
41. **Sagomonova V.A., Kislyakova V.I., Bol'shakov V.A., Dolgoplov S.S.** Effect of a Reinforcing Layer on the Mechanical Loss Tangent of Vibration-Absorbing Materials. *Internat. Polym. Sci. Technol.* 2016. V. 43. N 6. P. 13-16. DOI: 10.1177/0307174x1604300606.

Поступила в редакцию 11.01.2022
Принята к опубликованию 21.03.2022

Received 11.01.2022
Accepted 21.03.2022