

ВЛИЯНИЕ ГАЛОБУТИЛКАУЧУКОВ И СЭВИЛЕНА НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Е.Н. Егоров¹, Н.И. Кольцов²

¹Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

²Кафедра физической химии и высокомолекулярных соединений, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский пр., 15, Чебоксары, Российская Федерация, 428015

E-mail: enegorov@mail.ru, koltsovni@mail.ru

В статье исследовано влияние галобутилкаучуков ББК-232, ХБК-139 и сэвилена 11808-340 на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-4045 на реометрические, физико-механические и динамические свойства резины, используемой для изготовления изделий, устойчивых к воздействию морской воды. В состав резиновой смеси входили: бутадиен-нитрильный каучук СКН-4045, бромбутиловый ББК-232 и хлорбутиловый ХБК-139 каучуки; вулканизующий агент – сера; ускорители вулканизации – гуанид Ф и алтакс; активаторы вулканизации – белила цинковые и стеариновая кислота; противостаритель – нафтам-2; смягчители – канифоль, битум нефтяной, фактис; наполнители – транс-полинонборнен, технические углероды П 514 и П 803. Резиновая смесь готовилась на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. На реометре MDR 3000 Basic исследовались вулканизационные характеристики полученной резиновой смеси. В дальнейшем резиновую смесь вулканизовали в прессе Р-V-100-3RT-2-PCD. Для полученных вулканизатов определялись физико-механические свойства и их изменения, а также степень набухания после выдержки в морской воде. Динамические параметры (тангенс угла механических потерь и модуль упругости) вулканизатов исследовались на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104 при частоте 1000 Гц и температуре 30 °С. В результате проведенных исследований установлено, что введение определенного количества сэвилена 11808-340 в резиновую смесь приводит к улучшению ее реометрических свойств (возрастанию времен начала и достижения оптимума вулканизации, уменьшению максимального и минимального крутящих моментов) и повышению физико-механических показателей (условной прочности при растяжении и относительного удлинения) резины. Резина на основе каучуков СКН-4045 и ХБК-139, содержащая 5,0 мас. ч. сэвилена обладают повышенными прочностными свойствами. После суточной и недельной выдержки в морской воде физико-механические свойства, твердость и степень набухания вулканизатов изменяются в допустимых пределах. Установлено, что резина на основе комбинации каучуков СКН-4045, ХБК-139 и сэвилена при массовом соотношении 75:25:5 характеризуется повышенными эксплуатационными и динамическими свойствами.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный и галоидные каучуки, сэвилен, резина, реометрические, деформационно-прочностные и динамические свойства, морская вода

INFLUENCE OF HALOBUTYL CAOUTHOUCS AND SEVILEN ON THE PROPERTIES OF RUBBER BASED OF BUTADIENE NITRILE CAOUTCHOU

E.N. Egorov¹, N.I. Kol'tsov²

¹Department of Physical Chemistry and Macromolecular Compounds, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Moskovsky ave., 15, Cheboksary, 428015, Russia

²Department 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, koltsovni@mail.ru

The article examines the influence of halobutyl rubbers BBK-232, KhBK-139 and sevilen 11808-340 on the properties of rubber based on nitrile butadiene caouthouc SKN-4045 on the rheometric, physical-mechanical and dynamic properties of rubber used for the manufacture of products resistant to sea water. The rubber mixture included: nitrile butadiene caoutchouc SKN-4045, bromobutyl BBK-232 and chlorobutyl KhBK-139 caoutchoucs; vulcanizing agent - sulfur; vulcanization accelerators – guanide F and altax; vulcanization activators – zinc white and stearic acid; antioxidant – naphtham-2; softeners – rosin, petroleum bitumen, factis; fillers – trans-poly-norbornene, carbon black P 514 and P 803. The rubber mixture was prepared on laboratory rollers LB 320 160/160. The vulcanization characteristics of the resulting rubber mixture were studied using an MDR 3000 Basic rheometer. Subsequently, the rubber mixture was vulcanized in a P-V-100-3RT-2-PCD press. For the obtained vulcanizates, the physical and mechanical properties and their changes, as well as the degree of swelling after exposure to sea water, were determined. The dynamic parameters (mechanical loss tangent and elastic modulus) of the vulcanizates were studied on a Metravib VHF 104 dynamic mechanical analyzer at a frequency of 1000 Hz and a temperature of 30 °C. As a result of the studies, it was established that the introduction of a certain amount of sevilen 11808-340 into the rubber mixture leads to an improvement in its rheometric properties (an increase in the time of onset and achievement of the vulcanization optimum, a decrease in the maximum and minimum torques) and an increase in physical and mechanical parameters (conditional tensile strength and relative elongation) of rubber. Rubber based on SKN-4045 and KhBK-139 caoutchoucs, containing 5.0 wt. parts of sevilen have increased strength properties. After daily and weekly exposure to sea water, the physical and mechanical properties, hardness and degree of vulcanizates swelling change within acceptable limits. It has been established that rubber based on a combination of SKN-4045, KhBK-139 caoutchoucs and sevilen with a mass ratio of 75:25:5 is characterized by increased performance and dynamic properties.

Keywords: nitrile butadiene and halogen caoutchoucs, sevilen, rubber, rheometric, elastic-strength and dynamic properties, sea water

Для цитирования:

Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Влияние галобутилкаучуков и сэвилена на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного каучука. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 2. С. 74–82. DOI: 10.6060/rcj.2025692.9.

For citation:

Egorov E.N., Kol'tsov N.I. Influence of halobutyl caoutchoucs and sevilen on the properties of rubber based of butadiene nitrile caoutchouc. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 2. P. 74–82. DOI: 10.6060/rcj.2025692.9.

ВВЕДЕНИЕ

В связи со стремлением к высокому качеству жизни и растущим осознанием необходимости защиты окружающей среды в современном обществе выдвигаются более высокие требования к снижению шума. Обычно применяемые материалы представляют собой полимерные демпфирующие элементы, которые используют свойство вязкой упругости полимеров: возникающее внутреннее трение преобразует энергию внешних полей (механической и акустической вибрации) в тепловую энергию и рассеивает ее, тем самым достигая цели снижения шума. К таким материалам относятся резины [1-8], динамические свойства которых необходимо улучшать. К тому же подводные демпфирующие резиновые изделия находясь в контакте с морской водой в течение длительного времени, должны

иметь стабильный коэффициент механических потерь, и у них не должны сильно изменяться физико-механические свойства. Одним из методов улучшения физико-механических, эксплуатационных и динамических свойств таких изделий является использование различных каучуков и полимеров в резиновой матрице [9-13], например, галоидных и бутадиен-нитрильных каучуков [14-17]. Модификация резиновых смесей сополимерами этилена с винилацетатом (сэвилены) [18-26], среди которых сэвилен 11808-340, является наиболее эффективной [21, 27], позволяет повысить технологические и эксплуатационные свойства резин. В связи с этим в данной работе исследовано влияние галобутилкаучуков и сэвилена 11808-340 на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного каучука, применяемой для изготовления стойких к морской воде изделий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследовалась резиновая смесь, содержащая бутадиен-нитрильный каучук СКН-4045, гало-бутилкаучуки ББК-232, ХБК-139 и сэйилен 11808-340. В ее состав также входили следующие ингредиенты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – 2,2'-добензотиазолдисульфид, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеариновая кислота; противостаритель – нафтам-2; смягчители – канифоль, смола СМПласт, битум нефтяной, фактис и масло индустриальное И-12А; наполнители – технические углероды П 514 и П 803, мел природный, *транс*-полинонборборнен. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре валков вальцев 60–70 °С в течение 25 мин. Реометрические характеристики резиновой смеси исследовались на реометре MDR 3000 Basic фирмы «Mon Tech» при 150 °С в течение 30 мин в соответствии с ASTM D2084-79. Стандартные образцы для определения физико-механических показателей вулканизовали при температуре 150 °С в течение 30 мин в вулканизацион-

ном прессе типа Р-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; изменение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и твердости после воздействия морской воды – по ГОСТ 9.030-74 (метод В); изменение массы после экспозиции в морской воде – по ГОСТ 9.030-74 (метод А). Динамические параметры (модуль упругости, тангенс угла механических потерь) вулканизатов различных вариантов резиновой смеси изучали при температуре 30 °С на динамическом механическом анализаторе Metravib VHF 104 при режиме деформации «растяжение-сжатие» и частоте 1000 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены варианты резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного СКН-4045 и бромбутилового ББК-232 каучуков с различным содержанием сэйилена.

Таблица 1

Варианты и реометрические показатели резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ББК-232 и сэйилена 11808-340

Table 1. Variants and rheometric parameters of rubber compound based on SKN-4045, BBK-232 caouthoucs and Sevilen 11808-340

Каучуки	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
СКН-4045, мас. ч.	75,0	75,0	75,0	75,0	80,0	70,0
ББК-232, мас. ч.	25,0	25,0	25,0	25,0	20,0	30,0
Сэйилен 11808-340, мас. ч.	-	5,0	10,0	15,0	5,0	5,0
Реометрические показатели						
S_{max} , ДН·м	6,84	6,98	6,28	5,60	6,14	6,97
S_{min} , ДН·м	0,76	0,79	0,76	0,74	0,99	1,08
t_s , мин	2,52	2,62	2,80	2,96	2,97	2,81
t_{90} , мин	19,82	20,02	20,09	21,35	15,74	16,26

Примечание: S_{max} и S_{min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации

На рис. 1 приведены полученные вулканизационные кривые резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045 и ББК-232 с различным содержанием сэйилена 11808-340, а в табл. 1 следующие из них значения реометрических показателей резиновой смеси.

Как видно из рис. 1 и табл. 1, увеличение содержания сэйилена приводит к возрастанию времен начала и достижения оптимума вулканизации (варианты 1-4). При этом второй вариант резино-

вой смеси, содержащий 5,0 мас. ч. сэйилена, обладает наибольшими значениями максимального и минимального крутящих моментов. Пятый вариант резиновой смеси, включающий 20,0 мас. ч. каучука ББК-232, характеризуется наибольшим значением времени начала вулканизации и наименьшей величиной оптимального времени вулканизации.

В табл. 2 приведены варианты резиновой смеси на основе каучука СКН-4045 с различным содержанием сэйилена и хлорбутилового каучука ХБК-139.

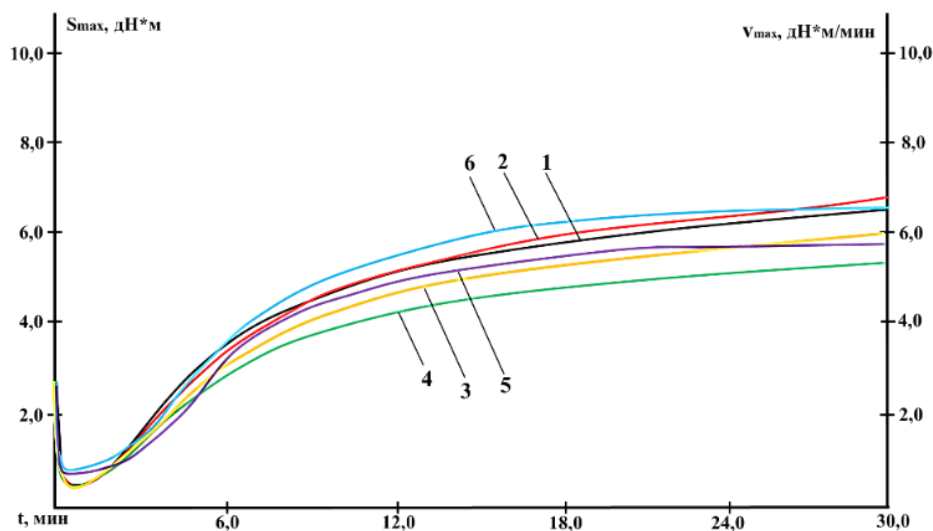


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ББК-232 и сэвилена 11808-340 (номера кривых соответствуют номерам вариантов табл. 1)

Fig. 1. Vulcanization curves of the rubber based on SKN-4045, BBK-232 caouthoucs and Sevilen 11808-340 (curve numbers correspond to the variant numbers in Table 1)

Таблица 2

Варианты резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ХБК-139 и сэвилена 11808-340
Table 2. Variants of rubber compound based on SKN-4045, KhBK-139 caouthoucs and Sevilen 11808-340

Каучуки	Варианты					
	7	8	9	10	11	12
СКН-4045, мас. ч.	75,0	75,0	75,0	75,0	80,0	70,0
ХБК-139, мас. ч.	25,0	25,0	25,0	25,0	20,0	30,0
Сэвилен-11808-340, мас. ч.	-	5,0	10,0	15,0	5,0	5,0
Реометрические показатели						
S_{max} , дН·м	8,01	7,21	6,52	6,60	6,42	7,28
S_{min} , дН·м	0,9	0,87	0,88	0,86	1,02	1,17
t_s , мин	1,89	2,16	2,09	2,17	3,09	2,82
t_{90} , мин	19,83	17,63	19,13	19,08	21,24	20,40

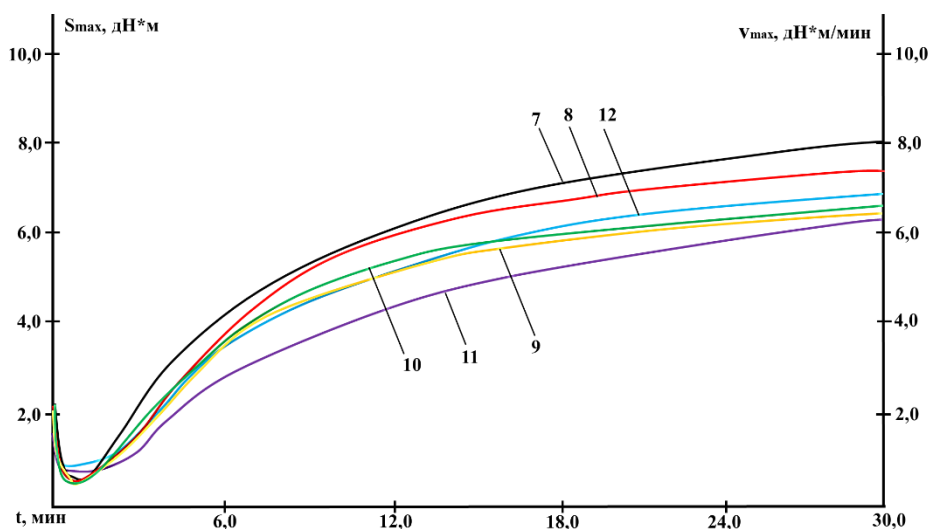


Рис. 2. Кривые вулканизации резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ХБК-139 и сэвилена 11808-340 (номера кривых соответствуют номерам вариантов табл. 2)

Fig. 2. Vulcanization curves of the rubber based on SKN-4045, KhBK-139 caouthoucs and Sevilen 11808-340 (curve numbers correspond to variant numbers in Table 2)

На рис. 2 приведены вулканизационные кривые резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045 и ХБК-139 с различным содержанием сэвилена 11808-340, а в табл. 2 следующие из них значения реометрических показателей резиновой смеси.

Как видно из рис. 2 и табл. 2, добавление сэвилена (варианты 7-10) приводит к возрастанию времен начала и достижения оптимума вулканизации резиновой смеси. При этом значения максимального и минимального крутящих моментов уменьшаются. Наибольшими значениями времен начала и оптимума вулканизации обладает вариант 11 резиновой смеси, содержащей каучук ХБК-139 в количестве 20,0 мас. ч.

Из сопоставления данных табл. 1 и 2 следует, что для резиновой смеси, содержащей каучук

ХБК-139, значения максимального и минимального крутящих моментов больше, а величины времен начала и достижения оптимума вулканизации меньше значений аналогичных показателей для резиновой смеси, содержащей каучук ББК-232. Разное влияние галоидбутиловых каучуков на реометрические свойства исследуемой резиновой смеси обусловлено различной реакционной способностью бром- и хлорбутиловых каучуков, вызванной меньшей энергией и большей длиной связи $C-Br$ по сравнению со связью $C-Cl$ [28-30].

В табл. 3 представлены результаты определения деформационно-прочностных свойств вулканизатов, полученных на основе 1-6 вариантов резиновой смеси.

Таблица 3

Деформационно-прочностные свойства вулканизатов резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ББК-232 и сэвилена 11808-340

Table 3. Deformation and strength properties of vulcanizates of rubber based on caouthoucs SKN-4045, BBK-232 and Sevilen 11808-340

Показатели	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
f_p , МПа	2,3	2,4	2,3	2,2	2,0	2,2
ε_p , %	290	330	320	300	410	300
H , ед. Шор А	64	64	66	67	72	68
S , %	10	10	10	11	9	8
B , кН/м	20	18	19	20	16	20
Изменение деформационно-прочностных свойств вулканизатов после выдержки в морской воде при 24 °С в течение 24 ч						
Δf_p , %	-5,0	-4,8	-5,2	-5,4	-5,2	-5,0
$\Delta \varepsilon_p$, %	-3,5	-3,4	-4,0	-4,5	-3,5	-3,6
ΔH , ед. Шор А	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Степень набухания вулканизатов после выдержки в морской воде при 23 °С в течение 24/168 ч						
α , %	0,35/1,20	0,32/1,15	0,32/1,37	0,39/1,52	0,36/1,38	0,38/1,43

Примечание: f_p – условная прочность при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; S – эластичность по отскоку; B – сопротивление раздиру; Δf_p и $\Delta \varepsilon_p$ – относительное изменение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве; ΔH – разность твердостей вулканизатов после и до воздействия морской воды; α – степень набухания

Из табл. 3 следует, что увеличение содержания сэвилена 11808-340 (варианты 1-4) и каучука ББК-232 (варианты 4-6) приводит к незначительным изменениям деформационно-прочностных свойств и небольшому возрастанию упругих показателей вулканизатов. В этой же таблице приведены результаты исследования изменения деформационно-прочностных свойств и степени набухания вулканизатов 1-6 вариантов резиновой смеси после их выдержки в морской воде. Как видно, наименьшими изменениями деформационно-прочностных свойств обладает вулканизат 2 варианта резиновой смеси, с увеличением длительности экспозиции вулканизатов в морской воде наблюдается

возрастание степени их набухания, которая не превышает 1,6%, и наименьшей ее величиной характеризуется также вулканизат 2 варианта резиновой смеси, содержащий 5,0 мас. ч. сэвилена 11808-340.

В табл. 4 представлены результаты определения деформационно-прочностных свойств вулканизатов, полученных на основе 7-12 вариантов резиновой смеси и изменения этих свойств и степени набухания после выдержки их в морской воде.

Из данных табл. 4 следует, что добавление в резиновую смесь сэвилена 11808-340 (варианты 7-10) и уменьшение содержания каучука ХБК-179 (варианты 10-12) в резиновой смеси приводит к снижению условной прочности при растяжении,

относительного удлинения при разрыве, сопротивления раздиру и возрастанию твердости вулканизатов. Оптимальным является 8 вариант резиновой смеси, вулканизат которой характеризуется наименьшими изменениями условной прочности при растяжении, относительного удлинения и степени набухания при разрыве при воздействии морской воды.

Из сопоставления данных табл. 3 и 4 следует, что вулканизаты резиновой смеси, содержащей каучук ХБК-139, обладают более высокими деформационно-прочностными свойствами, чем

вулканизаты резиновой смеси, содержащей каучук ББК-232. Вулканизат 8 варианта резиновой смеси характеризуется большими деформационно-прочностными свойствами и наименьшими их изменениями, а также наименьшей степенью набухания в морской воде.

Результаты исследования динамических параметров вулканизатов резиновой смеси на основе СКН-4045, галоидбутиловых каучуков и сэвилена 11808-340 приведены в табл. 5.

Таблица 4

Деформационно-прочностные свойства вулканизатов резиновой смеси на основе каучуков СКН-4045, ХБК-139 и сэвилена 11808-340

Table 4. Deformation-strength properties of vulcanizates of rubber based on caouthoucs SKN-4045, KhBK-139 and Sevilen 11808-340

Показатели	Варианты					
	7	8	9	10	11	12
f_p , МПа	4,6	4,3	4,1	3,2	4,2	3,8
ε_p , %	420	415	410	400	490	320
H , ед. Шор А	56	57	58	59	62	64
S , %	8	8	9	9	9	8
B , кН/м	26	23	22	20	25	16
Изменение деформационно-прочностных свойств вулканизатов после выдержки в морской воде при 24°C в течение 24 ч						
Δf_p , %	-4,5	-4,0	-4,4	-5,1	-4,9	-4,7
$\Delta \varepsilon_p$, %	-2,1	-1,2	-2,9	-2,0	-1,0	-1,5
ΔH , ед. Шор А	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Степень набухания вулканизатов после выдержки в морской воде при 23°C в течение 24/168 ч						
α , %	0,25/0,64	0,20/0,38	0,48/0,79	0,54/1,05	0,32/0,51	0,30/0,63

Таблица 5

Тангенс угла механических потерь и модуль упругости для различных вариантов вулканизатов резиновой смеси на основе галобутиловых каучуков, СКН-4045 и сэвилена 11808-340

Table 5. Tan delta and storage modulus for different variants of vulcanizates of rubber based on halobutyl caouthoucs, SKN-4045 and Sevilene 11808-340

Показатель	Варианты вулканизатов					
	1	2	3	4	5	6
$\text{tg}\delta$	0,515	0,539	0,474	0,481	0,503	0,531
$E \cdot 10^{-7}$, Па	5,47	5,82	5,89	6,54	6,26	5,89
	Варианты вулканизатов					
	7	8	9	10	11	12
$\text{tg}\delta$	0,563	0,626	0,565	0,559	0,555	0,598
$E \cdot 10^{-7}$, Па	9,28	8,19	9,29	8,63	7,84	7,47

Из данных табл. 5 следует, что вулканизаты резиновой смеси, содержащие каучук ХБК-139 по сравнению с вулканизатами, содержащими каучук ББК-232, обладают улучшенными динамическими свойствами, что указывает на ее высокие звукопоглощающие свойства. Вулканизат 8 варианта резиновой смеси характеризуется большими величинами тангенса угла механических потерь, модуля

упругости, обладает высокой жесткостью и устойчивостью к упругой деформации.

ВЫВОДЫ

Исследовано влияние галобутилкаучуков ББК-232, ХБК-139 и сэвилена 11808-340 на реометрические свойства резиновой смеси, физико-механические, динамические показатели и стойкость к

воздействию морской воды резины на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-4045. Установлено, что резина на основе комбинации каучуков при соотношении СКН-4045:ХБК-139:сэвилен 11808-340 = 75:25:5 (мас. ч.) характеризуется улучшенными реометрическими, деформационно-прочностными,

звукопоглощающими свойствами и устойчивостью к воздействию морской воды.

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Chandran V., Nagarajan L., Thomas M.R. Evaluation of vibration damping behavior of different sizes of waste tyre rubber in natural rubber composites. *Journal of Composite Materials*. 2017. V. 52. N 18. P. 2493-2501. DOI: 10.1177/0021998317748467.
2. Bala A., Gupta S. Thermal resistivity, sound absorption and vibration damping of concrete composite doped with waste tire Rubber: A review. *Construction and Building Materials*. 2021. V. 299. P. 123939. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123939.
3. Yun Y.M., Lee J.H., Choi M.C., Kim J.W., Kang H.M., Bae J.W. A Study on the Effect of Petroleum Resin on Vibration Damping Characteristics of Natural Rubber Composites. *Elastomers and Composites*. 2021. V. 56. N 4. P. 201-208. DOI: 10.7473/EC.2021.56.4.201.
4. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C. Begum S. The effect of graphene and nanoclay on properties of nitrile rubber/polyvinyl chloride blend with a potential approach in shock and vibration damping applications. *Iranian Polymer Journal*. 2022. V. 31. P. 1129-1145. DOI: 10.1007/s13726-022-01064-6.
5. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология* 2020. Т. 63. № 11. С. 96-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.
6. 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. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2021. V. 14. N 1. P. 38-44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
7. Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование свойств стойкой к морской воде резины. *Российский химический журнал*. 2023. Т. 67. № 3. С. 11-16. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.2.
8. Соловьева О.Ю., Ветошкин А.Б., Гудков С.В., Никитина Е.Л. Модификация композиций на основе поливинилхлорида и бутадиен-стирольного каучука соединениями с изоцианатными группами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 51-57. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6576.
9. Egorov E.N., Salomatina E.V., Vassilyev V.R., Bannov A.G., Sandalov S.I. Effect of polynorbornene on physico-mechanical, dynamic, and dielectric properties of vulcanizates based on isoprene, α -methylstyrene-butadiene, and nitrile-butadiene rubbers for rail fasteners pads. *Journal of Composites Science*. 2023. V. 7. N 8. P. 334. DOI: 10.3390/jcs7080334.
10. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. V. 51. N 6. P. 119-126. DOI: 10.18149/MPM.5162023_11.

REFERENCES

1. Chandran V., Nagarajan L., Thomas M.R. Evaluation of vibration damping behavior of different sizes of waste tyre rubber in natural rubber composites. *Journal of Composite Materials*. 2017. V. 52. N 18. P. 2493-2501. DOI: 10.1177/0021998317748467.
2. Bala A., Gupta S. Thermal resistivity, sound absorption and vibration damping of concrete composite doped with waste tire Rubber: A review. *Construction and Building Materials*. 2021. V. 299. P. 123939. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123939.
3. Yun Y.M., Lee J.H., Choi M.C., Kim J.W., Kang H.M., Bae J.W. A Study on the Effect of Petroleum Resin on Vibration Damping Characteristics of Natural Rubber Composites. *Elastomers and Composites*. 2021. V. 56. N 4. P. 201-208. DOI: 10.7473/EC.2021.56.4.201.
4. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C. Begum S. The effect of graphene and nanoclay on properties of nitrile rubber/polyvinyl chloride blend with a potential approach in shock and vibration damping applications. *Iranian Polymer Journal*. 2022. V. 31. P. 1129-1145. DOI: 10.1007/s13726-022-01064-6.
5. Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the operational and dynamic properties of rubber for products operating in sea water. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 11. P. 96-102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307. (in Russian).
6. 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. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2021. V. 14. N 1. P. 38-44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
7. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Investigation of the properties of resistant rubber to seawater. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 3. P. 11-16. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.2. (in Russian).
8. Solovyeva O.Yu., Vetoshkin A.B., Gudkov S.V., Nikitina E.L. Modification of compositions based on polyvinyl chloride and styrene butadiene rubber with compounds with isocyanate groups. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 51-57. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6576.
9. Egorov E.N., Salomatina E.V., Vassilyev V.R., Bannov A.G., Sandalov S.I. Effect of polynorbornene on physico-mechanical, dynamic, and dielectric properties of vulcanizates based on isoprene, α -methylstyrene-butadiene, and nitrile-butadiene rubbers for rail fasteners pads. *Journal of Composites Science*. 2023. V. 7. N 8. P. 334. DOI: 10.3390/jcs7080334.
10. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening. *Materials Physics and Mechanics*. 2023. V. 51. N 6. P. 119-126. DOI: 10.18149/MPM.5162023_11.
11. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Influence of basalt fibres on the physical-mechanical, performance and dy-

11. **Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Influence of basalt fibres on the physical-mechanical, performance and dynamic properties of rubber for rail pads. *Chemistry for Sustainable Development*. 2023. V. 31. N 4. P. 362-366. DOI: 10.15372/CSD2023479.
12. **Egorov E.N., Kol'tsov N.I.** Influence of glass fibers on the physico-mechanical and performance properties of rubber based on general and special purpose caoutchoucs. *Materials Physics and Mechanics*. 2024. V. 52. N 1. P. 126-131. DOI: 10.18149/MPM.5212024_12.
13. **Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Studying the effect of trans-polynorbornene on the properties of a rubber mixture for rail fastener pads. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2022. V. 13. N 4. P. 1019-1023. DOI: 10.1134/s2075113322040104.
14. **Ushmarin N.F., Egorov E.N., Grigor'ev V.S., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Influence of Chlorobutyl Caoutchouc on the Dynamic Properties of a Rubber Based on General-Purpose Caoutchoucs. *Russian Journal of General Chemistry*. 2022. V. 92. N 9. P. 1862-1865. DOI:10.1134/S1070363222090298.
15. **Кольцов Н.И., Косьянов П.М.** Исследование свойств резины на основе бутадиен-нитрильного и галоидных каучуков. *Бутлеровские сообщения*. 2023. Т.74. № 4. С. 77-80. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-74-4-77.
16. **Chen B, Dai J, Song T, Guan Q.** Research and Development of High-Performance High-Damping Rubber Materials for High-Damping Rubber Isolation Bearings: A Review. *Polymers*. 2022. V. 14. N 12. P. 2427. DOI: 10.3390/polym14122427.
17. **Zachariah A.K., Chandra A.K., Mohammed, P.K., Thomas S.** Vulcanization kinetics and mechanical properties of organically modified nanoclay incorporated natural and chlorobutyl rubber nanocomposites. *Polymer Testing*. 2019. V. 76. P. 154-165. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.02.003.
18. **Панфилова О.А., Вольфсон С.И., Охотина Н.А., Сабиров Р.К., Баранец И.В., Каримова А.Р., Шишкина А.А.** Совмещающие добавки для повышения взаимодействия на границе раздела фаз в термопластичных вулканизатах на основе каучуков различной полярности и полипропилена. *Каучук и резина*. 2017. Т. 76. № 4. С. 224-229.
19. **Jinu J.G., Anil K.B.** Influence of Matrix Polarity on the Properties of Ethylene Vinyl Acetate – Carbon Nanofiller Nanocomposites. *Nanoscale Research Letters*. 2009. V. 4. N 7. P. 655-664. DOI: 10.1007/s11671-009-9296-8.
20. **Сяйлева М.В., Буканов А.М., Звезденков К.А., Волошин В.Н., Меркулова Т.А.** Модификация резин на основе бутадиен-нитрильного каучука сополимером этилена с винилацетатом. *Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии: Сб. тр. участников XXI научно-практической конф.* М.: 2016. С. 71-72.
21. **Спиридонов И.С., Илларионова М.С., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И.** Влияние сополимеров этилена с винилацетатом на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного каучука. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2018. Т. 61. Вып. 8. С. 60-65. DOI: 10.6060/ivkkt.20186108.5759.
22. **Kaewsakul W., Jandam N., Kalkornsurapranee E., Saiwari S., Thitithammawong A.** High Modulus Rubber Vulcanizates from Natural Rubber/EVA Blends Filled with Reinforcing Fillers. *Advanced Materials Research*. 2015. V. 1134. P. 171-177. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1134.171.
23. **Ahmad H.S., Ismail H., A. Rashid A.** Ethylene vinyl acetate as compatibilizer on cure characteristics and mechanical properties of rubber for rail pads. *Chemistry for Sustainable Development*. 2023. V. 31. N 4. P. 362-366. DOI: 10.15372/CSD2023479.
12. **Egorov E.N., Kol'tsov N.I.** Influence of glass fibers on the physico-mechanical and performance properties of rubber based on general and special purpose caoutchoucs. *Materials Physics and Mechanics*. 2024. V. 52. N 1. P. 126-131. DOI: 10.18149/MPM.5212024_12.
13. **Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Studying the effect of trans-polynorbornene on the properties of a rubber mixture for rail fastener pads. *Inorganic Materials: Applied Research*. 2022. V. 13. N 4. P. 1019-1023. DOI: 10.1134/s2075113322040104.
14. **Ushmarin N.F., Egorov E.N., Grigor'ev V.S., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Influence of Chlorobutyl Caoutchouc on the Dynamic Properties of a Rubber Based on General-Purpose Caoutchoucs. *Russian Journal of General Chemistry*. 2022. V. 92. N 9. P. 1862-1865. DOI:10.1134/S1070363222090298.
15. **Kol'tsov N.I., Kosyanov P.M.** Study of the properties of rubber based on nitrile butadiene and halogen rubbers. *Butlerovskiyе soobshcheniya*. 2023. V. 74. N 4. P. 77-80. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-74-4-77. (in Russian).
16. **Chen B, Dai J, Song T, Guan Q.** Research and Development of High-Performance High-Damping Rubber Materials for High-Damping Rubber Isolation Bearings: A Review. *Polymers*. 2022. V. 14. N 12. P. 2427. DOI: 10.3390/polym14122427.
17. **Zachariah A.K., Chandra A.K., Mohammed, P.K., Thomas S.** Vulcanization kinetics and mechanical properties of organically modified nanoclay incorporated natural and chlorobutyl rubber nanocomposites. *Polymer Testing*. 2019. V. 76. P. 154-165. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.02.003.
18. **Panfilova O.A., Wolfson S.I., Okhotina N.A., Sabirov R.K., Baranets I.V., Karimova A.R., Shishkina A.A.** Compounding additives to increase interaction at the interface in thermoplastic vulcanizates based on rubbers of different polarities and polypropylene. *Kuchuk i Rezina*. 2017. V. 76. N 4. P. 224-229. (in Russian).
19. **Jinu J.G., Anil K.B.** Influence of Matrix Polarity on the Properties of Ethylene Vinyl Acetate – Carbon Nanofiller Nanocomposites. *Nanoscale Research Letters*. 2009. V. 4. N 7. P. 655-664. DOI: 10.1007/s11671-009-9296-8.
20. **Syaileva M.V., Bukanov A.M., Zvezdenkov K.A., Voloshin V.N., Merkulova T.A.** Modification of rubber based on nitrile butadiene rubber with a copolymer of ethylene and vinyl acetate. *Rubber industry: raw materials, materials, technologies: Collection of works of participants of the XXI scientific and practical conf.* Moscow. 2016. P. 71-72. (in Russian).
21. **Spiridonov I.S., Illarionova M.S., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** The influence of copolymers of ethylene with vinyl acetate on the properties of rubber based on nitrile butadiene rubber. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 8. P. 60-65. DOI: 10.6060/ivkkt.20186108.5759. (in Russian).
22. **Kaewsakul W., Jandam N., Kalkornsurapranee E., Saiwari S., Thitithammawong A.** High Modulus Rubber Vulcanizates from Natural Rubber/EVA Blends Filled with Reinforcing Fillers. *Advanced Materials Research*. 2015. V. 1134. P. 171-177. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1134.171.
23. **Ahmad H.S., Ismail H., A. Rashid A.** Ethylene vinyl acetate as compatibilizer on cure characteristics and mechanical properties of (natural rubber)/(Recycled acrylonitrile-butadiene rubber) blends. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2015. V. 23. N 2. P. 135-141. DOI: 10.1002/vnl.21478.

- properties of (natural rubber)/(Recycled acrylonitrile-butadiene rubber) blends. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2015. V. 23. N 2. P. 135-141. DOI: 10.1002/vnl.21478.
24. **Razavi-Nouri M.** Effect of NBR and organoclay contents on physical gelation of the uncured EVA/NBR/OMMT nanocomposites. *Iranian Polymer Journal*. 2023. V. 32. P. 801-810. DOI: 10.1007/s13726-023-01163-y.
25. **Степанов Г.В., Навроцкий В.А., Гайдадин А.Н., Ермолин А.С.** Термопластичные эластомеры на основе сополимера этилена с винилацетатом. *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2015. № 4(159). С. 101-106.
26. **Кузнецова Н.А., Кострыкина Г.И.** Структура и свойства композиций на основе сэвилена и сетчатого эластомерного наполнителя. *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*. 2007. Т. 50. № 4. С. 79-82.
27. **Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И.** Исследование влияния сэвилена на свойства стойкой к морской воде резины. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. N 3. С. 42-46. DOI: 10.6060/rcj.2024683.7.
28. **Чайкун А.М., Алифанов Е.В., Наумов И.С.** Резины на основе бутилкаучука (обзор). *Новости материаловедения. Наука и техника*. 2016. № 6(24). С. 49-59.
29. **Cao R, Zhao X, Zhao X, Wu X, Li X, Zhang L.** Bromination modification of butyl rubber and its structure, properties and application. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2019. V. 58. N 36. P. 16645-16653. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b03491.
30. **Pazur R.J., Petrov I.** The thermo-oxidation of chlorinated and brominated isobutylene-co-isoprene polymers: Activation energies and reactions from room temperature to 100 °C. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. V. 121. P. 311-320. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.09.023.
24. **Razavi-Nouri M.** Effect of NBR and organoclay contents on physical gelation of the uncured EVA/NBR/OMMT nanocomposites. *Iranian Polymer Journal*. 2023. V. 32. P. 801-810. DOI: 10.1007/s13726-023-01163-y.
25. **Stepanov G.V., Navrotsky V.A., Gaidadin A.N., Ermolin A.S.** Thermoplastic elastomers based on ethylene-vinyl acetate copolymer. *News of Volgograd State Technical University*. 2015. N 4(159). P. 101-106. (in Russian).
26. **Kuznetsova N.A., Kostrykina G.I.** Structure and properties of compositions based on Sevilen and mesh elastomer filler. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2007. V. 50. N 4. P. 79-82 (in Russian).
27. **Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I.** Study of the influence of sevilen on the properties of seawater-resistant rubber. *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 3. P. 42-46. DOI: 10.6060/rcj.2024683.7. (in Russian).
28. **Chaikun A.M., Alifanov E.V., Naumov I.S.** Rubbers based on butyl rubber (review). *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*. 2016. N 6(24). P. 49-59. (in Russian).
29. **Cao R, Zhao X, Zhao X, Wu X, Li X, Zhang L.** Bromination modification of butyl rubber and its structure, properties and application. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2019. V. 58. N 36. P. 16645-16653. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b03491.
30. **Pazur R.J., Petrov I.** The thermo-oxidation of chlorinated and brominated isobutylene-co-isoprene polymers: Activation energies and reactions from room temperature to 100 °C. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. V. 121. P. 311-320. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.09.023.

Поступила в редакцию 06.08.2024
Принята к опубликованию 15.04.2025

Received 06.08.2024
Accepted 15.04.2025