

УДК 678.046.6

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-116-123

Научная статья

Original article

*А. А. Шейх Осман, Е. В. Кондратьев, И. А. Слободкин
А. Н. Гайдадин, И. Д. Иванов, Т. Б. Чентемиров*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ СЕРЫ
НА ВУЛКАНИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРОВ
НА ОСНОВЕ ПОЛЯРНОГО И НЕПОЛЯРНОГО КАУЧУКОВ**

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

✉ Амани Аль-Хадеровна Шейх Осман, scheihosman2018@yandex.ru

Аннотация. В работе исследовано влияние полимерной серы с различными значениями pH и температур плавления на свойства вулканизатов на основе каучуков СКИ-3 и БНКС-40. При проведении исследований варьировалось содержание компонентов вулканизирующей системы, включающей молотую и полимерную серу, что позволило определить оптимальные параметры процесса вулканизации. Анализ полученных образцов вулканизатов проводился с использованием современных методов физико-механических испытаний. В ходе исследования были определены прочность на разрыв, относительное удлинение, твердость по Шору А вулканизатов. Также оценено влияние показателей полимерной серы на параметры сетки поперечных связей эластомеров.

Ключевые слова: эластомеры, полимерная сера, вулканизаты, вулканизационные характеристики, упруго-прочностные свойства, плотность сшивания, энергия активации вулканизации

Для цитирования: Шейх Осман А. А., Кондратьев Е. В., Слободкин И. А., Гайдадин А. Н., Иванов И. Д., Чентемиров Т. Б. Исследование влияния полимерной серы на вулканизационные характеристики и механические свойства эластомеров на основе полярного и неполярного каучуков. Известия ВолгГТУ. 2025; 12(307): 116–123. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-116-123.

Информация об авторах:

Амани Аль-Хадеровна Шейх Осман – магистрант 1 курса, группы ХТПЭК-1 ВолгГТУ
e-mail: scheihosman2018@yandex.ru

Егор Витальевич Кондратьев – магистрант 2 курса, группы ХТПЭК-2 ВолгГТУ
e-mail: kew12.02@mail.ru

Илья Андреевич Слободкин – магистрант 2 курса, группы ВМС-2 ВолгГТУ
e-mail: slobodckin.ilja@mail.ru

Алексей Николаевич Гайдадин – канд. техн. наук, доцент кафедры ХТПЭ ВолгГТУ
<https://orcid.org/0000-0002-2192-5913>
e-mail: lit@vstu.ru

Илья Дмитриевич Иванов – аспирант кафедры ТВВМ ВолгГТУ
e-mail: iliu2000@inbox.ru

Тимофей Борисович Чентемиров – студент 4 курса бакалавриата, группы ХТ-444 ВолгГТУ
e-mail: 67398chent.ru@mail.ru

Вклад авторов:

А. А. Шейх Осман – разработка идеи и проведение экспериментальной части исследования, написание статьи.

Е. В. Кондратьев – проектирование методологии, проведение экспериментальной части исследования, написание статьи.

И. А. Слободкин – проектирование методологии, поиск литературных данных, работа с документацией, написание статьи.

А. Н. Гайдадин – разработка идеи исследования, координирование всех процессов работы, редактирование.

И. Д. Иванов – сбор и систематизация данных, редактирование.

Т. Б. Чентемиров – анализ полученных данных и интерпретация результатов, редактирование.

Введение

Сера является ключевым компонентом вулканизационной группы, обеспечивающим формирование необходимой структуры попереч-

ных связей между полимерными макромолекулами и тем самым придающими резиновым изделиям необходимые эксплуатационные свойства. Однако сера молотая, традиционно исполь-

зуемая при вулканизации, склонна к диффузии («выцветанию») на поверхность образцов, что ухудшает характеристики конечной продукции [1; 2].

Для преодоления этих недостатков перспективной альтернативой служит полимерная сера, являющейся метастабильной высокомолекулярной модификацией элементарной серы. Высокая молекулярная масса предотвращает ее миграцию в многослойных композитах, обеспечивая равномерное распределение и исключая дефекты изделий [1; 3].

Можно предположить, что температура плавления, молекулярная масса, рН полимерной серы напрямую влияют на кинетику вулканизации и финальные физико-механические свойства вулканизатов [4; 5]. Поэтому актуальной задачей является выявление корреляции между указанными выше свойствами полимерной серы и характеристиками эластомеров, включая кинетические параметры вулканиза-

ции и морфологию сетки поперечных связей [6; 7]. Решение этой задачи позволит целенаправленно модифицировать рецептуры и проводить оптимизацию технологических процессов изготовления изделий.

Целью данной работы является исследование влияния частичной замены молотой серы на ее полимерные аналоги, имеющие различные значения температуры плавления и показателя рН, в резиновых смесях на основе неполярного (СКИ-3) и полярного (БНКС-40) каучуков.

Экспериментальная часть

Использованные для исследований образцы молотой и полимерной серы отличались значениями показателя рН и температурой плавления. Образцы полимерной серы были получены специалистами университета КНИТУ (г. Казань) и представлены для экспериментов.

Характеристики образцов молотой и полимерной серы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики образцов полимерной серы и молотой серы

Марка серы	Показатель рН	Точка плавления
Сера молотая	7,00	114
Образец полимерной серы № 3	5,20	119
Образец полимерной серы № 5	6,55	117
Образец полимерной серы № 7	7,02	118,5
Образец полимерной серы № 9	7,19	118,5

Исследовались рецептуры резиновых смесей с разным содержанием молотой и полимерной серы. За базовую рецептуру принималась резиновая смесь, включающая молотую серу

в составе вулканизирующей группы. В остальных исследуемых смесях часть молотой серы заменялась на ее полимерный аналог. Рецептуры исследуемых смесей приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Рецептуры исследуемых резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Ингредиент	Шифры исследуемых смесей								
	СКИ-0	СКИ-3.1	СКИ-3.2	СКИ-5.1	СКИ-5.2	СКИ-7.1	СКИ-7.2	СКИ-9.1	СКИ-9.2
Каучук СКИ-3	100,0	100,0	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Оксид цинка	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Стеариновая кислота	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Техуглерод П-324	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Сульфенамид Ц	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Сера молотая	2,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Сера полимерная образец № 3	0,00	1,75	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Окончание табл. 2

Ингредиент	Шифры исследуемых смесей								
	СКИ-0	СКИ-3.1	СКИ-3.2	СКИ-5.1	СКИ-5.2	СКИ-7.1	СКИ-7.2	СКИ-9.1	СКИ-9.2
Сера полимерная образец № 5	0,00	0,00	0,00	1,75	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00
Сера полимерная образец № 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	2,25	0,00	0,00
Сера полимерная образец № 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	2,25

Таблица 3

Рецептуры исследуемых резиновых смесей на основе БНКС-40

Ингредиент	Шифры исследуемых смесей								
	БНКС-40	БНКС-1	БНКС-2	БНКС-3	БНКС-4	БНКС-5	БНКС-6	БНКС-7	БНКС-8
Каучук БНКС-40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Оксид цинка	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Стеариновая кислота	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Техуглерод П-324	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Каптакс	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Сера молотая	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Сера полимерная образец № 3	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сера полимерная образец № 5	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Сера полимерная образец № 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00
Сера полимерная образец № 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50
ИТОГО	154,00	154,00	154,50	154,00	154,50	154,00	154,50	154,00	154,50

Для эластомеров готовилось по две резиновых смеси, наполненных полимерной серой: на основе каучука СКИ-3 с содержанием в первом случае 1,75, а во втором – 2,25 масс. ч.; на основе каучука БНКС-40 – 1,00 и 1,50 масс. ч. соответственно. Параметры процесса вулканизации композиций определялись с использованием установки MDR 3000.

Оптимальное время вулканизации определялось по значениям изменения модуля от времени, полученным с использованием установки MDR 3000 [7; 8].

Так как резиновые смеси на основе каучуков СКИ и БНКС-40 вулканизируются, как правило, в интервале от 140 °С до 160 °С, то для определения изменения времени вулканизации были выбраны эти температуры (рис. 1 и 2).

Оценка параметров вулканизации проводилась для базовых смесей, в составе вулканизирующей группы которых присутствовала только молотая сера.

По результатам испытаний (рис. 1 и 2), оптимальными условиями вулканизации композиций на основе каучука СКИ-3 выбраны температура 140 °С и время 30 минут, оптимальными условиями вулканизации композиций на основе каучука БНКС-40 выбраны температура 160 °С и время в течение 30 минут. Эти режимы вулканизации были использованы для исследуемых композиций, включающих полимерную серу.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей, содержащих полимерную серу, приведены в табл. 4 и 5.

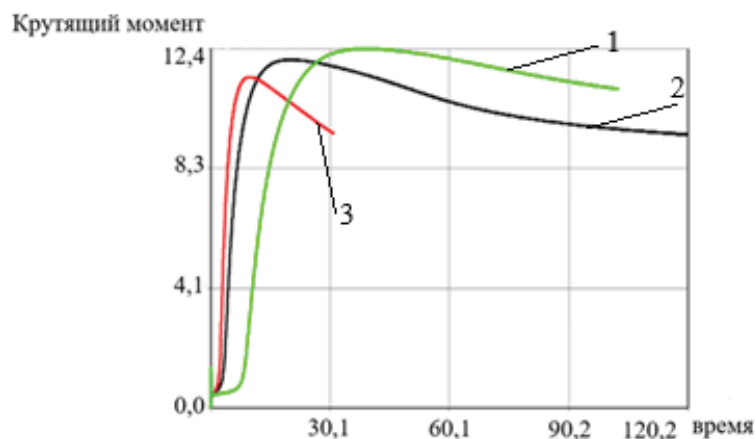


Рис. 1. Реометрические кривые вулканизации композиций на основе каучука СКИ-3 в зависимости от температуры:
1 – температура 140 °C; 2 – температура 150 °C; 3 – температура 160 °C

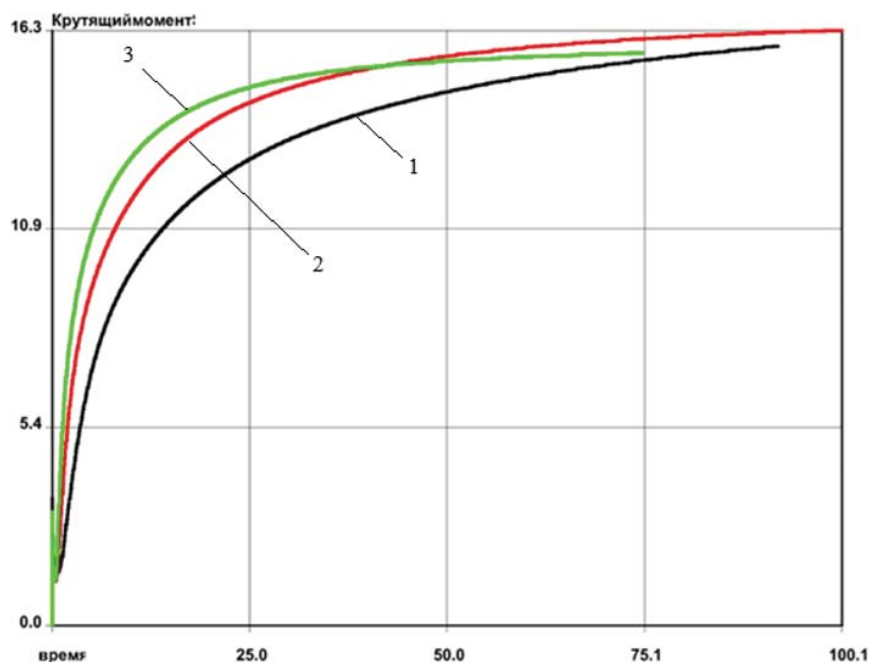


Рис. 2. Реометрические кривые вулканизации композиций на основе каучука БНКС-40 в зависимости от температуры:
1 – температура 140 °C; 2 – температура 150 °C; 3 – температура 160 °C

Таблица 4

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Обозначение показателей	Шифры исследуемых смесей								
	СКИ-0	СКИ-3.1	СКИ-3.2	СКИ-5.1	СКИ-5.2	СКИ-7.1	СКИ-7.2	СКИ-9.1	СКИ-9.2
M_L , дН·м	0,45	0,37	0,36	0,40	0,38	0,38	0,39	0,37	0,38
M_H , дН·м	12,41	11,67	12,28	10,82	12,61	10,81	11,80	10,06	10,95
ΔM , дН·м	11,96	11,30	11,92	10,42	12,23	10,43	11,41	9,69	10,57
t_{s1} , мин	8,58	8,21	6,65	7,65	6,77	7,72	7,86	8,53	7,54
t'_{90} , мин	21,97	21,80	22,43	21,70	21,01	21,24	23,48	22,58	22,58
R_v , мин ⁻¹	7,47	7,36	6,34	6,34	7,02	7,40	6,40	7,12	6,73
E , $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	98607	87111	99177	88524	87029	90377	79788	88939	90531

Таблица 5

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе каучука БНКС-40

Обозначение показателей	Шифры исследуемых смесей								
	БНКС-40	БНКС-1	БНКС-2	БНКС-3	БНКС-4	БНКС-5	БНКС -6	БНКС -7	БНКС-8
M_L , дН*м	1,2	1,42	1,29	1,37	1,31	1,4	1,31	1,33	1,19
M_H , дН*м	16,3	16,28	20,77	16,08	20,8	16,46	20,45	14,54	18,58
ΔM , дН*м	15,1	14,86	19,48	14,71	19,49	15,06	19,14	13,21	17,39
t_{s1} , мин	0,94	2,54	1,45	1,51	1,17	1,38	1,53	1,52	1,28
t'_{90} , мин	31,21	34,96	30,31	29,19	20,55	23,65	26,52	26,66	29,43
R_v , мин ⁻¹	3,30	3,08	3,47	3,61	5,16	4,49	4,00	3,98	3,55
E , $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	69798	81435	103786	92887	93305	77002	76474	54827	70476

M_L – значение минимального крутящего момента; M_H – значение максимального крутящего момента; t_{s1} – время до начала подвулканизации; t'_{90} – время достижения 90 % от полной вулканизации. Время, за которое крутящий момент увеличивается на определенное значение S' , выраженное в процентах от разности между максимальным и минимальным значениями; R_v – скорость вулканизации; E – энергия активации.

Таблица 6

Упруго-прочностные свойства эластомеров на основе СКИ-3

Показатель	Шифры исследуемых смесей								
	СКИ-0	СКИ-3.1	СКИ-3.2	СКИ-5.1	СКИ-5.2	СКИ-7.1	СКИ-7.2	СКИ-9.1	СКИ-9.2
σ , МПа	24,2	23	24,5	23,8	23,7	23,7	22,1	21	22,6
ϵ , %	592,7	608	610,9	619,2	553	581	578,4	624	634,9
$E_{100\%}$, МПа	1,47	1,42	1,47	1,37	1,69	1,57	1,38	1,11	1,23
$E_{300\%}$, МПа	4,58	4,04	4,21	4,08	4,8	4,41	4,18	3,46	3,51

Таблица 7

Упруго-прочностные свойства эластомеров на основе БНКС-40

Показатель	Шифры исследуемых смесей								
	БНКС -40	БНКС -1	БНКС -2	БНКС -3	БНКС -4	БНКС -5	БНКС -6	БНКС -7	БНКС -8
σ , МПа	20,7	17,9	16,2	18,5	17,7	16,4	17	17,3	17,1
ϵ , %	505	490,5	342,3	477,4	337,9	428,4	332,2	462,9	393,9
$E_{50\%}$, МПа	0,83	0,82	1,06	0,76	1,00	0,78	0,93	0,74	0,9
$E_{100\%}$, МПа	1,59	1,46	2,34	1,52	2,49	1,65	2,31	1,37	1,82
$E_{300\%}$, МПа	5,71	4,92	7,09	5,49	7,52	5,66	7,67	5,39	6,45

σ – прочность при растяжении. Максимальное напряжение при растяжении, зарегистрированное при растяжении образца в момент разрыва; ϵ – относительное удлинение; $E_{100\%}$ – значение напряжения при 100 % удлинении; $E_{300\%}$ – значение напряжения при 300 % удлинении.

Как видно из табл. 6 и 7, значение напряжения уменьшается как при 100 % удлинении, так и при 300 %. Исходя из полученных упруго-прочностных свойств заметно, что введение полимерной серы уменьшает прочность при растяжении.

Набухание образцов проводили согласно требованиям ГОСТ ISO 1817-2005 в течение 144 часов при 30 °С в среде толуола. Далее образцы сушили в течение 72 часов при 60 °С до дости-

жения постоянной массы. Молекулярная масса участка цепи вулканизационной сетки определялась по уравнению Флори – Ренера (1):

$$\frac{1}{M_{п\text{ физ}}} = - \frac{[\ln(1-V_r) + V_r + \chi \cdot V_r^2]}{\left[\rho_r \cdot V_0 \cdot \left(\frac{1}{V_r^3} - 0,5 \cdot V_r \right) \right]}, \quad (1)$$

где ρ_r – плотность невулканизованного полимера; χ – константа взаимодействия полимер-растворитель (константа Хаггинса). V_0 – моль-

ный объем растворителя (107,0 – для толуола); V_1 – объемная доля каучука в набухших вулканизатах.

Степень поперечного сшивания определялась по формуле (2) (табл. 8 и 9):

$$V = \frac{\rho}{M_c} = \frac{N_c}{N_A}, \quad (2)$$

где ρ – плотность полимера; M_c – молекулярная масса участка цепи вулканизационной сетки; N_c – число цепей сетки в единице объема; N_A – число Авогадро.

Таблица 8

Параметры сетки поперечных связей эластомеров на основе каучука СКИ-3

Показатель	Шифры исследуемых смесей								
	СКИ-0	СКИ-3.1	СКИ-3.2	СКИ-5.1	СКИ-5.2	СКИ-7.1	СКИ-7.2	СКИ-9.1	СКИ-9.2
M_c	5195	4251	4776	5181	4703	5149	5331	5414	5214
Плотность поперечного сшивания $\cdot 10^{-4}$ (моль/см ³)	1,77	2,17	1,93	1,78	1,96	1,79	1,73	1,70	1,76

Таблица 9

Параметры сетки поперечных связей эластомеров на основе БНКС-40

Показатель	Шифры исследуемых смесей								
	БНКС -40	БНКС -1	БНКС -2	БНКС -3	БНКС -4	БНКС -5	БНКС -6	БНКС -7	БНКС -8
M_c	1134,54	1224,06	1002,24	1152,01	974,12	1154,34	982,97	1189,64	1055,21
Плотность поперечного сшивания $\cdot 10^{-4}$ (моль/см ³)	8,68	8,05	9,83	8,57	10,11	8,54	10,03	8,28	9,34

Обсуждение результатов

По итогам исследования было выяснено, что в зависимости от типа каучука и полимерной серы меняются кинетические параметры вулканизации резиновых смесей.

Для эластомеров на основе БНКС-40 при большем содержании полимерной серы увеличивается максимальный крутящий момент M_H , а минимальный крутящий момент M_L сокращается. Введение полимерной серы увеличивает индукционный период и время вулканизации. Введение полимерного аналога в большинстве случаев приводит к повышению модуля при удлинении 50 %, 100 % и 300 % и уменьшению прочности эластомерных композиций.

Для эластомеров из каучука СКИ-3 при введении полимерной серы наблюдается уменьшение как максимального крутящего момента M_H , так и минимального M_L . Было выяснено, что при 100 %-ном удлинении E_{100} и при разрыве R_b зависят от типа серы. Исследование показало, что подбор типа и варьирование содержания полимерной серы позволяет контролировать процесс вулканизации и изменять уп-

руго-прочностные характеристики вулканизатов. Установлено увеличение плотности сшивки и уменьшение молекулярной массы поперечных связей вулканизатов при увеличении кислотности полимерной серы.

Выводы

Полученные результаты подтвердили целесообразность использования полимерной серы в производственных процессах. Изучено влияние на свойства вулканизатов каучуков СКИ-3 и БНКС-40 частичной заменой молотой серы на полимерную. Было определено, что использование полимерной серы позволяет регулировать физико-механические характеристики вулканизатов. Показано влияние полимерной серы на процесс вулканизации и параметры сетки поперечных связей композиций. Результаты исследования подтверждают перспективность применения полимерной серы как вулканизирующего агента, способного повысить качество резиновых изделий и обеспечить оптимизацию производственных процессов изготовления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Большой справочник резинщика [Текст] : [в 2 ч.] / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М.: Техинформ, 2012. – 735 с.
2. Alireza, M. Определение формы серы для использования в качестве вулканизирующего агента натурального каучука путем сравнения физических и термических свойств полученной резины / M. Alireza, Sh. Hedieh // Нефтехимия. – 2018. – Т. 58, № 1. – С. 95–99.
3. Маннанова, Ф. Г. Исследование влияния полимерной серы в качестве модифицирующей добавки на физико-механические показатели бреккерных резин / Ф. Г. Маннанова // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2011. – № 12. – С. 238–240.
4. Steudel, R. Элементарная сера и соединения с высоким содержанием серы I / R. Steudel // Вопросы современной химии. – 2004. – № 4. – С. 200–204.
5. Маннанова, Ф. Г. Исследование влияния полимерной серы в качестве модифицирующей добавки на физико-механические показатели бреккерных резин / Ф. Г. Маннанова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 12. – С. 238–240.
6. Титова, Л. М. Технологические приемы получения полимерной серы высокого качества: обзор патентов / Л. М. Титова, Ю. А. Максименко, Д. В. Ерес // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 5(39). – С. 72–90. – DOI 10.25699/SSSB.2021.39.5.017.
7. Титова, Л. М. Промышленные способы получения полимерной серы / Л. М. Титова, Ю. А. Максименко, Д. В. Ерес, Э. Р. Теличкина // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 4(38). – С. 81–91. – DOI 10.25699/SSSB.2021.38.4.007.
8. Юловская, В. Д. Сетчатые эластомеры: учеб. пособие / В. Д. Юловская, А. А. Канаузова, С. В. Емельянов. – 2-е изд. доп. – М.: РТУ МИРЭА, 2022. – 59 с.
9. Фам, К. Д. Влияние поли-*n,n*-диаллил-*n,n*-диметиламмонийхлорида на вулканизацию натурального каучука и его смеси с поливинилхлоридом / К. Д. Фам, Д. А. Горковенко, А. Н. Гайдадин, В. А. Навроцкий // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4(214) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – С. 69–76.

REFERENCES

1. The big rubber band handbook [Text] : [in 2 parts] / edited by S. V. Reznichenko, Yu. L. Morozov. – M.: Techninform, 2012. – 735 p.
2. Alireza, M. Determination of the sulfur form for use as a vulcanizing agent of natural rubber by comparing the physical and thermal properties of the obtained rubber / M. Alireza, Sh. Hedieh // Petrochemistry. – 2018. – Vol. 58, No. 1. – Pp. 95–99.
3. Mannanova, F. G. Investigation of the effect of polymer sulfur as a modifying additive on the physico-mechanical properties of core rubbers / F. G. Mannanova // Bulletin of Kazan Technological University. – 2011. – No. 12. – Pp. 238–240.
4. Steudel, R. Elemental sulfur and compounds with high sulfur content I / R. Steudel // Issues of modern chemistry. – 2004. – № 4. – С. 200–204.
5. Mannanova, F. G. Investigation of the effect of polymer sulfur as a modifying additive on the physico-mechanical properties of core rubbers / F. G. Mannanova // Bulletin of Kazan Technological University. – 2011. – No. 12. – Pp. 238–240.
6. Titova, L. M. Technological methods for obtaining high-quality polymer sulfur: a review of patents / L. M. Titova, Yu. A. Maksimenko, D. V. Eres // South Siberian Scientific Bulletin. – 2021. – № 5(39). – Pp. 72–90. – DOI 10.25699/SSSB.2021.39.5.017.
7. Industrial methods for obtaining polymer sulfur / L. M. Titova, Yu. A. Maksimenko, D. V. Eres, E. R. Telichkina // South Siberian Scientific Bulletin. – 2021. – № 4(38). – Pp. 81–91. – DOI 10.25699/SSSB.2021.38.4.007.
8. Yulovskaya, V. D. Mesh elastomers : textbook. manual / V. D. Yulovskaya, A. A. Kanauzova, S. V. Yemelyanov. – 2nd ed. supplement – Moscow : RTU MIREA, 2022. – 59 p.
9. The influence of poly-*n,n*-diallyl-*n,n*-dimethylammonium chloride on the vulcanization of natural rubber and its mixture with polyvinyl chloride / K. D. Pham, D. A. Gorkovenko, A. N. Gaidadin, V. A. Navrotsky // Proceedings of the Volgograd State Technical University. – 2018. – № 4(214). – Pp. 69–76.

A. A. Sheikh Osman, E. V. Kondratyev, I. A. Slobodkin
A. N. Gaidadin, I. D. Ivanov, T. B. Chentemirov

STUDY OF THE EFFECT OF POLYMERIC SULFUR
ON THE VULCANIZATION CHARACTERISTICS AND MECHANICAL
PROPERTIES OF ELASTOMERS BASED ON POLAR AND NON-POLAR RUBBER

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

✉ Amani A. Sheikh Osman, scheihosman2018@yandex.ru

Abstract: This study investigates the effect of partially replacing traditional ground sulfur with polymeric sulfur-varying in pH and melting point-on the properties of vulcanizates based on SKI-0 (isoprene rubber) and SKN-40 (nitrile rubber). Numerous experiments were conducted with different component ratios to determine the optimal vulcanization process parameters. The analysis of the obtained vulcanizate samples was performed using modern physico-mechanical testing methods. The study identified key mechanical and physical properties of the vulcanizates, including tensile strength, elongation at break, Shore hardness, abrasion resistance, impact strength, and others.

Keywords: elastomers, polymeric sulfur, vulcanizates, vulcanization characteristics, elastic-strength properties, crosslinking density, activation energy.

For citation: Sheikh Osman A. A., Kondratyev E. V., Slobodkin I. A., Gaidadin A. N., Ivanov I. D., Chentemirov T. B. Study of the effect of polymeric sulfur on the vulcanization characteristics and mechanical properties of elastomers based on polar and non-polar rubber. *Izvestiya VSTU*. 2025; 12(307): 116–123. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-12-307-116-123.

Information about the authors:

Amani A. Sheikh Osman – 1nd-year master's degree student, group HTPEC-1 VSTU

e-mail: scheihosman2018@yandex.ru

Egor V. Kondratiev – 2nd-year master's degree student, group HTPEC-2 VSTU

e-mail: kew12.02@mail.ru

Ilya A. Slobodkin – 2nd-year master's degree student, group VMS-2 of VSTU

e-mail: slobodekin.ilja@mail.ru

Alexey N. Gaidadin – Associate Professor of the HTPE Department of VSTU, PhD in Engineering sciences

<https://orcid.org/0000-0002-2192-5913>

e-mail: lit@vstu.ru

Ilya D. Ivanov - Postgraduate at the TVVM Department of VSTU

e-mail: iliu2000@inbox.ru

Timofey B. Chentemirov – 4th-year undergraduate student, group HT-444 of VSTU

Contribution of the authors:

Amani A. Sheikh Osman – developing the idea and conducting the experimental part of the study, writing the article.

Egor V. Kondratiev – designing the methodology, conducting the experimental part of the study, writing the article.

Ilya A. Slobodkin – designing the methodology, searching for data in scientific literature, working with documentation, writing the article.

Alexey N. Gaidadin – developing the research idea, coordination of all work processes, editing.

Ilya D. Ivanov – data collection and systematization, editing.

Timofey B. Chentemirov – data analysis and interpretation of results, editing.

Статья поступила в редакцию 20.10.2025, доработана 16.11.2025, подписана в печать 03.12.2025

The article was submitted 20.10.2025, revised 16.11.2025, accepted for publication 03.12.2025