

**Н. А. Сергин, Л. Ю. Закирова, Ю. Н. Хакимуллин,
Г. Х. Гумерова, Е. М. Готлиб**

ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-МЕТИЛСТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА СКМС-30 АРКМ-15

Ключевые слова: зола рисовой шелухи, белая сажа, бутадиен-метилстирольный каучук, резиновые смеси, вулканизаты, свойства.

Наполнители резиновых смесей значительно удешевляют стоимость резин, а также улучшают некоторые их свойства. В последние годы исследователи занимаются поиском новых наполнителей резиновых смесей, которые будут заменой классических наполнителей, дешевыми и экологичными. Использование отходов сельского хозяйства в резиновой промышленности не только решит проблему утилизации отходов, но и снизит зависимость от традиционных наполнителей. Необходимость снижения зависимости от традиционных наполнителей вызвана экологическими проблемами их производства, ограниченностью их запасов, экономической выгодой от использования возобновляемых или более дешевых наполнителей и другими причинами. Поэтому в данной работе исследована возможность использования золы рисовой шелухи в качестве наполнителя в резиновых смесях на основе бутадиен-метилстирольного каучука. Оценено влияние введения золы рисовой шелухи (ЗРШ) на свойства резиновых смесей и резин. В стандартной рецептуре резиновой смеси наполнитель белую сажу (БС) заменяли на золу рисовой шелухи в количестве от 0 до 50 масс.ч. Определение свойств проводили по стандартным методикам испытания резин. Выявлено, что увеличение дозировки золы рисовой шелухи снижает вязкость резиновых смесей, улучшая их перерабатываемость и, соответственно, снижая энергозатраты. Для определения режима вулканизации, провели исследование вулканизационных характеристик смесей на реометре при температуре 170 °С: Увеличение содержания золы рисовой шелухи в смесях приводит к уменьшению оптимального времени вулканизации и увеличению времени подвулканизации. Определено, что прочностные свойства резин снижаются при увеличении содержания в них золы рисовой шелухи. Это вызвано снижением плотности сшивки макромолекул каучука и их слабым взаимодействием с частицами золы рисовой шелухи. Основными рабочими средами резин являются вода и бензин, поэтому была проведена оценка стойкости резин к воздействию воды и бензина. Наибольшую стойкость к воздействию воды имел образец с содержанием БС/ЗРШ (белая сажа/зола рисовой шелухи) 20/30 масс.ч. Степень набухания всех образцов не превышала 6 %, что говорит о стойкости резин с ЗРШ к воде. Использование золы рисовой шелухи в количестве 20-50 масс.ч в качестве наполнителя снижает упруго-прочностные свойства резин на основе СКМС-30 АРКМ-15.

**N. A. Sergin, L. Y. Zakirova, Yu. N. Khakimullin,
G. Kh. Gumerova, E. M. Gotlib**

THE EFFECT OF RICE HUSK ASH ON THE PROPERTIES OF RUBBER BASED ON BUTADIENE-METHYL STYRENE RUBBER SKMS-30 ARKM-15

Keywords: rice husk ash, white soot, butadiene-methyl styrene rubber, rubber compounds, vulcanizates, properties.

Fillers of rubber compounds significantly reduce the cost of rubbers, as well as improve some of their properties. In recent years, researchers have been searching for new rubber compound fillers that will replace classic fillers, cheap and environmentally friendly. The use of agricultural waste in the rubber industry will not only solve the problem of waste disposal, but also reduce dependence on traditional fillers. The need to reduce dependence on traditional fillers is caused by environmental problems of their production, limited stocks, economic benefits from the use of renewable or cheaper fillers, and other reasons. Therefore, in this paper, the possibility of using rice husk ash as a filler in rubber mixtures based on butadiene-methyl styrene rubber is investigated. The effect of the introduction of rice husk ash (RHA) on the properties of rubber compounds and rubbers is estimated. In the standard formulation of the rubber mixture, the filler white soot (WS) was replaced with rice husk ash in an amount from 0 to 50 mass.p. The properties were determined according to standard rubber testing methods. It was found that increasing the dosage of rice husk ash reduces the viscosity of rubber compounds, improving their recyclability and, accordingly, reducing energy consumption. To determine the vulcanization regime, a study of the vulcanization characteristics of mixtures was conducted on a rheometer at a temperature of 170 °C: an increase in the ash content of rice husks in mixtures leads to a decrease in the optimal vulcanization time and an increase in the time of sub-vulcanization. It is determined that the strength properties of rubbers decrease with an increase in the content of rice husk ash in them. This is caused by a decrease in the crosslinking density of rubber macromolecules and their weak interaction with rice husk ash particles. The main working media of rubbers are water and gasoline, therefore, an assessment of the resistance of rubbers to water and gasoline was carried out. The sample with a WS/RHA (white soot/rice husk ash) content of 20/30 mass.p had the greatest resistance to water. The degree of swelling of all samples did not exceed 6%, which indicates the presence the resistance of rubbers with RHA to water. The use of rice husk ash in an amount of 20-50 mass.p as a filler reduces the elastic-strength properties of rubbers based on SKMS-30 ARKM-15.

Введение

Резиновая промышленность характеризуется очень широким ассортиментом каучуков различного

назначения и не меньшим ассортиментом ингредиентов. С каждым годом их количество растёт практически не останавливаясь. Особое место в

рецептуростроении среди ингредиентов занимают наполнители. По природе происхождения они делятся на природные и синтетические, производимые на химических предприятиях. Чаще всего в рецептурах резиновых смесей встречаются технический углерод и белая сажа, она же силика. Неотъемлемой частью резин в шинной промышленности является технический углерод, придающий изделиям высокую прочность, износостойкость и другие важные эксплуатационные свойства [1,2]. Белая сажа нашла своё место в рамках концепции «зеленая шина» и для изготовления изделий светлого цвета [3].

Исходя из выше сказанного, можно убедиться в том, что возникает необходимость искать новые наполнители, которые будут экологичными и дешевыми относительно классических, но в то же время сохранять или улучшать свойства резиновых смесей и их вулканизаторов. В последнее время ведутся исследования по использованию наполнителей, полученных из сельскохозяйственных отходов [4,5]. Объектом таких исследований не редко становится рисовая шелуха, влияние которой на свойства резиновых смесей и их вулканизаторов ещё предстоит выяснить [6].

Существует несколько способов получения золы рисовой шелухи. Первый метод заключается в прокаливании рисовой шелухи при достаточно высокой температуре без доступа воздуха, в результате чего образуется зола с высоким содержанием кремнезема и небольшим – оксидов металлов [7]. Химический метод получения кремнезема заключается в взаимодействии рисовой шелухи с раствором серной кислоты с последующим прокаливанием твердой фазы в печи [8].

Проводились исследования по внедрению золы рисовой шелухи в резиновые смеси на основе натурального каучука и синтетического этиленпропилендиенового; бутадиен-нитрильного и синтетического изопренового; бутадиен-стирольного [9, 6, 10]. Наполнение золой рисовой шелухи резин на основе натурального каучука и этиленпропилендиенового ухудшило их физико-механические свойства: снизились прочность и относительное удлинение при разрыве, модуль упругости при сжатии, а твердость увеличилась [9]. Резины на основе бутадиен-нитрильного каучука с наполнением золой рисовой шелухи обладают стойкостью к подвулканизации, а резиновые смеси из-за низкой вязкости легче поддаются обработке. Комплекс физико-механических свойств при этом незначительно снизился [6]. Свойства протекторной резины на основе бутадиен-стирольного каучука при наполнении золой рисовой шелухи ухудшились: снизились прочность при разрыве, сопротивление раздиру и истиранию. При этом снизился тангенс угла диэлектрических потерь [10].

Существуют и другие исследования по внедрению золы рисовой шелухи в полимерные матрицы полиолефинов, таких как полипропилен и полиэтилентерефталат, и их смесей с эластомерами, например, синтетическим этиленпропилендиеновым каучуком [11, 12]. Динамически вулканизованные

смеси этиленпропилендиенового терполимера и пропилен, наполненные золой рисовой шелухи, обладают превосходящими механическими свойствами, по сравнению со свойствами тех же не вулканизованных смесей [11]. Введение рисовой шелухи и ее золы в композиции полиэтилентерефталата повышает водопоглощение получаемых композитов [12].

В некоторых исследованиях золу рисовой шелухи предварительно обрабатывали различными веществами и растворами, такими как гидроксид натрия, спиртовым раствором бис(триэтоксисилилпропил) тетрасульфида, бензолдиазониевой солью и 3-аминопропил-триэтоксисилоном, с целью модификации поверхности частиц золы для последующего их введения в полимеры [13, 14, 15]. В результате авторами данных исследований установлено положительное влияние введения предварительно обработанной золы рисовой шелухи в полимерные матрицы на свойства полученных композитов.

Целью исследования является возможность полной или частичной замены наполнителя белой сажи на золу рисовой шелухи в резиновых смесях на основе синтетического бутадиен- α -метилстирольного каучука СКМС-30 АРКМ-15.

Экспериментальная часть

Рецептура резиновой смеси включала в себя каучук СКМС-30АРКМ-15, серную вулканизующую систему с ускорителями и активаторами вулканизации, наполнители – белую сажу марки БС-100 и золу рисовой шелухи (табл.1). Зола рисовой шелухи – аморфный диоксид кремния, производства МАК-1 (ТУ 38.21.40-002-91011908-2023), вводилась в количестве 0÷50 масс.ч. Средний размер частиц белой сажи составляет 19-27 нм, а размер частиц золы – 270-320 нм.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей

Table 1 – Formulations of rubber compounds

Ингредиент	Содержание, масс.ч.					
	1	2	3	4	5	6
СКМС-30- СРКМ-15	100	100	100	100	100	100
Каптакс	2	2	2	2	2	2
Сера	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Тиурам Д	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Стеариновая кислота	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
БС-100	50	40	30	20	10	0
ЗРШ	0	10	20	30	40	50

Резиновые смеси изготавливали на пластикордере «Brabender» при температуре 60°C в течение 6-10 минут при скорости вращения роторов 60 об/мин.

В работе исследовалось влияние золы рисовой шелухи (ЗРШ) на свойства резиновых смесей и вулканизаторов, в частности на пластозластические, вулканизационные свойства резиновых смесей и физико-механические свойства резин до и после термоокислительного старения, а также

определялась их степень набухания в некоторых жидких средах.

Пластоэластические свойства резиновых смесей согласно ГОСТ 415-75 определяли на вискозиметре Муни и пластомете ВР-2. Вулканизационные характеристики резиновых смесей были определены на реометре MD-3000А согласно ГОСТ 54547-2011. Вулканизацию резиновых смесей проводили на гидравлическом прессе при температуре 170°C, давлении 100 атмосфер, время вулканизации составило 25 минут.

Определение упруго-прочностных свойств и сопротивление раздиру осуществляли на разрывной машине РМИ-250 по ГОСТ 270-75 и ГОСТ 262-93 соответственно, твердости – с помощью твердомера ТШМ-2 по ГОСТ 263-75, эластичности – на маятнике Шоба, согласно ГОСТ 27110-86.

Обсуждение результатов

Зола рисовой шелухи является перспективным наполнителем для резиновых смесей. Высокое содержание свободного диоксида кремния SiO_2 в ее составе оставляет за собой предпосылку использовать эту золу вместо белой сажи. Содержание SiO_2 в золе составляет 94,9 %, а остальную часть составляют в масс. %: углерод (С) - 4,64, сера (S) - 0,26; окись железа (FeO) - 0,20. Образуется такая зола в результате сжигания рисовой шелухи без доступа кислорода при температуре около 600°C.

Сначала были определены пластоэластические свойства резиновых смесей, наполненных ЗРШ в количестве от 0÷50 масс.ч. Выявлено, что с увеличением содержания золы рисовой шелухи в резиновых смесях взамен белой сажи, наблюдается снижение вязкости резиновых смесей и увеличение их пластичности и мягкости (рис. 1). Снижение вязкости обусловлено меньшей удельной площадью поверхности частиц золы, по сравнению с белой сажой (удельная поверхность белой сажи по адсорбции фенола – $120 \pm 20 \text{ м}^2/\text{г}$, золы рисовой шелухи по БЭТ – $59.35 \pm 20 \text{ м}^2/\text{г}$).

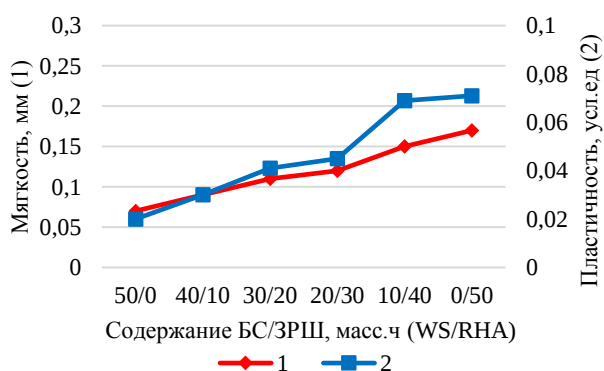


Рис. 1 – Влияние состава наполнителя на мягкость и пластичность резиновых смесей при 23°C: 1 – мягкость, мм, 2 – пластичность, усл.ед.

Fig. 1 – The effect of the filler composition on the softness and plasticity of rubber compounds at 23°C: 1 – softness, mm, 2 – plasticity, conl.units.

На реометре MD-3000А установлены время подвулканизации (t_{10}) и оптимальное время вулканизации (t_{90}), а также минимальный (ML) и максимальный (MH) крутящие моменты ротора реометра (табл. 2).

Как показывают результаты табл.2 время подвулканизации резиновых смесей возросло в три раза с увеличением в них содержания золы рисовой шелухи до 50 масс.ч., а значит и увеличивалась их стойкости к преждевременной вулканизации.

Напротив, снижалось время оптимума вулканизации в два раза, при содержании золы 10 масс.ч., и в пять раз, при полной замене белой сажи на золу, что говорит о том, что будут снижаться и энергозатраты на проведение процесса вулканизации. В то же время зафиксировано снижение максимального и минимального крутящих моментов ротора реометра в два раза при увеличении дозировки ЗРШ.

Таблица 2 – Вулканизационные характеристики резиновых смесей

Table 2 – Vulcanization characteristics of rubber compounds

№ смеси	Содержание БС/ЗРШ, масс.ч	ML, Н·м	MH, Н·м	t_{10} , мин	t_{90} , мин
1	50/0	5,49	39,90	0,19	26,05
2	40/10	4,19	29,78	0,26	13,67
3	30/20	3,55	27,06	0,49	13,94
4	20/30	2,98	17,08	0,75	10,08
5	10/40	2,29	11,93	0,88	6,07
6	0/50	2,24	13,62	0,59	4,51

Результаты физико-механических испытаний резин приведены в табл. 3, где видим, что введение золы рисовой шелухи привело к снижению физико-механических свойств резин. Наибольшей прочностью обладал образец только с белой сажой, прочность остальных образцов снижалась по мере увеличения содержания золы рисовой шелухи. Снижение прочностных свойств резин, вероятно, связано со слабым взаимодействием частиц ЗРШ с макромолекулами каучука и широким разбросом в размерах частиц этого наполнителя.

Как известно, показания твердости и эластичности резин связаны – твердость резин снижается с увеличением их эластичности. Однако, твердость образцов увеличивалась по мере увеличения дозировки золы рисовой шелухи до 30 масс.ч., с дальнейшим ростом содержания золы рисовой шелухи твердость снижалась, а эластичность, наоборот, увеличивалась с увеличением дозировки ЗРШ. Увеличение твердости образцов до ее максимума по мере увеличения дозировки в них золы, вероятно, обеспечено ростом количества точек контакта между макромолекулами каучука, создающим дополнительное межмолекулярное взаимодействие. А снижение твердости образцов после достижения ее максимума с дальнейшим увеличением содержания золы, скорее всего, связано с избытком наполнителя в матрице

каучука и последующим возникновением переизбытка внутренних напряжений, что ухудшает способность резины сопротивляться механическому воздействию.

Остаточное удлинение образцов уменьшалось с увеличением дозировки золы рисовой шелухи (табл.

Таблица 3 – Результаты физико-механических испытаний резин

Table 3 – Results of physical and mechanical tests of rubbers

Показатель	№ смеси					
	1	2	3	4	5	6
Содержание БС/ЗРШ, масс.ч	50/0	40/10	30/20	20/30	10/40	0/50
Прочность при растяжении, МПа	21,15	18,18	12,58	12,00	6,37	4,52
Относительное удлинение, %	746,67	710,00	633,33	746,67	733,33	533,33
Сопротивление раздиру, кН/м	50,34	43,52	27,22	17,89	15,26	11,37
Твердость по Шору А, усл. Ед.	50,00	54,00	54,00	55,00	51,00	49,00
Эластичность по отскоку, %	30,00	33,00	38,00	40,00	46,00	47,00
Остаточное удлинение, %	28,00	21,33	17,33	20,00	25,33	12,00

Результаты физико-механических испытаний резин после термоокислительного старения представлены в табл. 4. Наблюдалось сохранение уровня прочностных свойств и уменьшение относительного удлинения при растяжении образцов после термоокислительного старения, по сравнению с данными исходных образцов. Снижение относительного удлинения резин связано с окислительной деструкцией макромолекул каучука и образованием поперечных сшивок макромолекул, что снижает их подвижность относительно друг друга. Из-за наличия в составе золы рисовой шелухи оксидов металлов, например, оксида железа, резина с ее наполнением становится менее стойкой к воздействию кислорода воздуха, поскольку оксиды металлов, в частности оксид железа, могут выступать в роли катализаторов окислительной деструкции, в процессе которой в резине образуются свободные радикалы, расщепляющие макромолекулы резины,

Таблица 4 – Результаты физико-механических испытаний резин после термоокислительного старения при 100°С в течение 72 часа

Table 4 – Results of physico-mechanical tests of rubbers after thermo-oxidative aging at 100°C for 72 hours

Показатель	№ смеси			
	1	2	3	4
Содержание БС/ЗРШ, масс.ч	50/0	40/10	30/20	20/30
Прочность при растяжении, МПа	22,34	17,89	12,55	1,35
Относительное удлинение, %	596,67	600,00	606,67	396,67
Сопротивление раздиру, кН/м	21,13	17,99	14,22	5,79
Твердость по Шору А, усл. ед.	72,00	72,00	68,00	58,00
Эластичность по отскоку, %	29,00	29,00	32,00	34,00
Остаточное удлинение, %	20,00	17,33	14,67	8,00

Определение стойкости резин к воздействию жидкостей осуществляли в воде, бензине и толуоле (рис. 2-4). Как видно по рис. 2, кривые набухания для образцов с различным содержанием БС/ЗРШ практически идентичны. Степень набухания образцов находится в пределах 83-93% и соответствует степени набухания резин с белой сажой.

Наименьшей степенью набухания в бензине обладал образец, наполненный только золой рисовой

3). Это, вполне возможно, связано увеличением эластичности и, как следствие, подвижностью макромолекул полимера относительно друг друга после снятия нагрузки.

что приводит к ухудшению ее физико-механических свойств. Кроме того, высокая температура так же способствует процессу окислительной деструкции.

Значения сопротивления раздиру уменьшились более, чем в два раза. Это, в свою очередь, объясняется проявлением микротрещин в местах специального раздира, распространяющихся вглубь резины, в результате термодеструкции.

Твердость всех образцов значительно увеличилась, что говорит о структурировании макромолекул каучука СКМС-30-АРКМ-15 в процессе старения, которые содержат в основной цепи двойные связи, что подтверждается уменьшением эластичности образцов на 20%. Еще одной из причин увеличения твердости резин после термоокислительного старения может быть более усиленная окислительная деградация поверхности, то есть образование на поверхности резины слоя с повышенной твердостью.

шелухи (рис. 3), а наибольшей – образец, наполненный БС/ЗРШ 10/40 – 100 %. Разница между их степенями набухания составила порядка 60 %. Вероятно, высокая степень набухания резины, наполненной смесью двух разных наполнителей, а именно белой сажой и золой рисовой шелухи с 10 и 40 масс.ч соответственно, связана с плохой совместимостью разных наполнителей, что позволило молекулам бензина диффундировать в резину, тем самым повысив ее степень набухания.

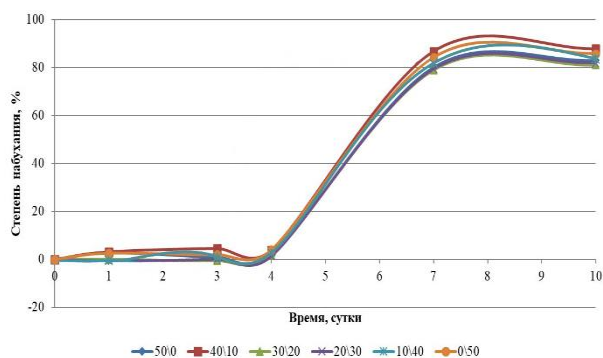


Рис. 2 – Влияние состава наполнителя на степень набухания вулканизатов в воде (БС/ЗРШ, масс.ч)

Fig. 2 – The effect of the filler composition on the degree of swelling of vulcanizates in water (WS/RHA, mass.p)

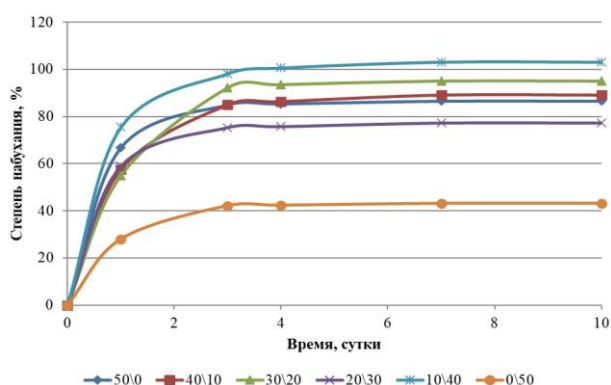


Рис. 3 – Влияние состава наполнителя на степень набухания вулканизатов в бензине (БС/ЗРШ, масс.ч)

Fig. 3 – The effect of the filler composition on the degree of swelling of vulcanizates in gasoline (WS/RHA, mass.p)

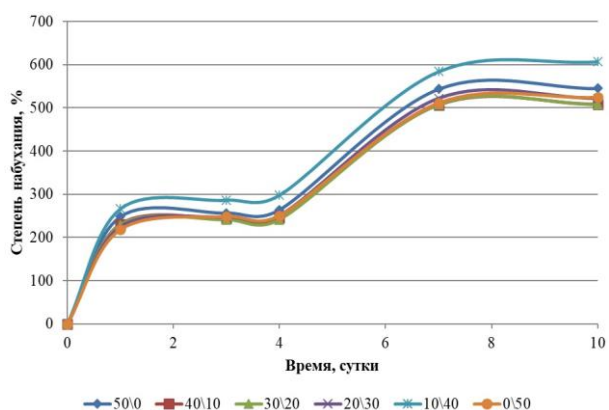


Рис. 4 – Влияние состава наполнителя на степень набухания вулканизатов в толуоле (БС/ЗРШ, масс.ч)

Fig. 4 – The effect of the filler composition on the degree of swelling of vulcanizates in toluene (WS/RHA, mass.p)

Как видно по кривым на рис. 4, степень набухания всех образцов в толуоле, кроме резины с наполнением БС/ЗРШ 10/40 масс.ч, была

практически одинаковой.

Отмечено наличие двух ступеней на кривой набухания в толуоле – на первой ступени (1-4 сутки) происходят процессы, связанные с набуханием бутадиеновой части сополимерного каучука, а на второй стадии, после 5 суток, начинаются процессы набухания метилстирольных молекул, что приводит к дальнейшему значительному увеличению степени набухания резин. Высокая степень набухания 550-600 %, в теории, может быть связана с неполярностью поверхности частиц золы из-за малого количества или отсутствия полярных групп на ее поверхности. Высокая степень набухания последней, в теории, может быть связана с недостаточно равномерным распределением двух наполнителей, близких по природе, но отличающихся по размерам, которое негативно влияет на стойкость резины к толуолу.

Закключение

В работе исследовано влияние золы рисовой шелухи на свойства резин на основе СКМС-30-АРКМ-15. Замена белой сажи на ЗРШ в количестве от 10 до 50 масс.ч. в резиновых смесях приводит к уменьшению их вязкости, по сравнению со смесями, содержащими только БС, на 2-35 % и уменьшению оптимального времени их вулканизации на 47-82 %, соответственно. Кроме того, при увеличении содержания ЗРШ до 50 масс.ч. снижаются прочностные свойства вулканизатов на 14-78 %, а после термоокислительного старения – на 20-94 %. Относительное удлинение вулканизатов уменьшается на 5-28 %, эластичность – на 10-26 %, напротив, увеличивается твердость на 8-10 %. Снижение всех свойств резин, может быть связано с высокой пористостью золы рисовой шелухи и ее адсорбцией ингредиентов вулканизирующей системы. Использование ЗРШ в качестве наполнителя резиновых смесей на основе СКМС-30-АРКМ-15 без значительного ухудшения свойств резин возможно при ее дозировке не более 10 масс.ч.

Литература

- 1.Е.С. Мокина, А.Б. Шеин. Вестник пермского университета, 3 (11), 75-80 (2013).
- 2.И.С. Макаров, А.А. Дьяконов, Н.Н. Петрова, А.А. Охлопкова, Н.Н. Лазарева, А.К. Кычкин, А.А. Кычкин, А.Г. Туисов, П.В. Винокуров, Н.П. Гладкина. Ползуновский вестник, 1, 154-163 (2022). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.021.
- 3.В.А. Хомич, О.Г. Карпова, Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) (Омск, Россия, 26-27 апреля, 2012), Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, 2012, Книга 1, 208-211.
- 4.Л.Н. Наумова, С.Ю. Валяев. Вестник Сыктывкарского университета, Серия 2: Биология. Геология. Химия., 4(20), 32-49 (2021). DOI: 10.34130/2306-6229-2021-4-32.
- 5.М.В. Базунова, Е.С. Хлобыстова, Р.К. Фахретдинов, Л.Р. Галиев, В.П. Захаров. Вестник технологического университета, 20, 18, 5-8 (2017).
- 6.В.В. Боброва, Н.Р. Прокопчук, С.А. Ефремов, С.В.

- Нечипуренко. Труды БГТУ, Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология., 1(265), 112-121 (2023). DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-13.
7. M. Fijalkowski, K. Adach, A. Petran, D. Kroisova. Materials Science Forum, Volume 844, 153-156 (2016). DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.844.153.
8. D. Battagazzore, S. Bocchini, J. Alongi, A. Frache. RSC Advances, 4, 54703-54712 (2014). DOI:10.1039/C4RA05991C.
9. Rahmaniar, Tri Susanto, Impact of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile prop rubber/ethylene propylene rubber blends: 13th Joint Conference on Chemistry (Indonesia, may, 2019), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, Volume 509, 1-10. DOI:10.1088/1757-899X/509/1/012116.
10. M. Romero Santos Fernandes, A. M. Furtado de Sousa, C. Russi Guimaraes Furtado. Polimeros, 27 (1), 55-61 (2017). DOI:10.1590/0104-1428.2385.
11. S. Siriwardena, H. Ismail, U.S. Ishiaku. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 40 (4), 519-538 (2001). DOI:10.1081/PPT-100002074.
12. Maulida, Syahri Dani, dan Faisal Bukhori. International Journal of Science and Research, Volume 4, Issue 6, 2146-2148 (2015).
13. L. Srisuwan, K. Jarukumjorn, N. Suppakarn. Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2018, 1, 1-14 (2018). DOI:10.1155/2018/4583974.
14. P.A. Ubi, P.U. Adah, N.A. Ademoh, A.A. Salawu, A.B. Hassan, J.D. Dashe, S.W. Oyeyemi. Nigerian journal of technology, Volume 41, 5, 879-886 (2022). DOI:10.4314/nijotech.415.2988.
15. A. Allahbakhsh, F. N. Khodabadi, F. S. Hosseini, A. Haghighi. European Polymer Journal, Volume 94, 417-430 (2017). DOI:10.1016/j.eurpolymj.2017.07.031.
- 2012), Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, 2012, Book 1, 208-211.
4. L.N. Naumova, S.Yu. Valyaev. Bulletin of Syktyvkar University, Series 2: Biology. Geology. Chemistry., 4(20), 32-49 (2021). DOI: 10.34130/2306-6229-2021-4-32
5. M.V. Bazunova, E.S. Khlobystova, R.K. Fakhretdinov, L.R. Galiev, V.P. Zakharov. Bulletin of the Technological University, 20, 18, 5-8 (2017).
6. V.V. Bobrova, N.R. Prokopchuk, S.A. Efremov, S.V. Nechipurenko. Proceedings of the Belgorod State Technological University, Series 2: Chemical Technologies, Biotechnology, Geoecology, 1(265), 112-121 (2023). DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-13.
7. M. Fijalkowski, K. Adach, A. Petran, D. Kroisova. Materials Science Forum, Volume 844, 153-156 (2016). DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.844.153.
8. D. Battagazzore, S. Bocchini, J. Alongi, A. Frache. RSC Advances, 4, 54703-54712 (2014). DOI:10.1039/C4RA05991C.
9. Rahmaniar, Tri Susanto, Impact of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile prop rubber/ethylene propylene rubber blends: 13th Joint Conference on Chemistry (Indonesia, May, 2019), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, Volume 509, 1-10. DOI:10.1088/1757-899X/509/1/012116.
10. M. Romero Santos Fernandes, A. M. Furtado de Sousa, C. Russi Guimaraes Furtado. Polimeros, 27 (1), 55-61 (2017). DOI:10.1590/0104-1428.2385.
11. S. Siriwardena, H. Ismail, U.S. Ishiaku. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 40 (4), 519-538 (2001). DOI:10.1081/PPT-100002074.
12. Maulida, Syahri Dani, and Faisal Bukhori. International Journal of Science and Research, Volume 4, Issue 6, 2146-2148 (2015).
13. L. Srisuwan, K. Jarukumjorn, N. Suppakarn. Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2018, 1, 1-14 (2018). DOI:10.1155/2018/4583974.
14. P.A. Ubi, P.U. Adah, N.A. Ademoh, A.A. Salawu, A.B. Hassan, J.D. Dashe, S.W. Oyeyemi. Nigerian journal of technology, Volume 41, 5, 879-886 (2022). DOI:10.4314/nijotech.415.2988.
15. A. Allahbakhsh, F. N. Khodabadi, F. S. Hosseini, A. Haghighi. European Polymer Journal, Volume 94, 417-430 (2017). DOI:10.1016/j.eurpolymj.2017.07.031.

References

1. E.S. Mokina, A.B. Shein. Bulletin of Perm University, 3 (11), 75-80 (2013).
2. I.S. Makarov, A.A. Dyakonov, N.N. Petrova, A.A. Okhlopova, N.N. Lazareva, A.K. Kychkin, A.A. Kychkin, A.G. Tuisov, P.V. Vinokurov, N.P. Gladkina. Polzunovsky Bulletin, 1, 154-163 (2022). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.021.
3. V.A. Khomich, O.G. Karpova, Development of the road transport complex and construction infrastructure based on rational nature management. Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) (Omsk, Russia, April 26-27,

© **Н. А. Сергин** – магистрант кафедры «Химия и технология переработки эластомеров» (ХТПЭ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ, Казань, Россия, niktov02@inbox.ru; **Л. Ю. Закирова** – к.т.н., доцент кафедры ХТПЭ, КНИТУ, kel118@rambler.ru; **Ю. Н. Хакимуллин** – д.т.н., профессор кафедры ХТПЭ, КНИТУ, hakim123@rambler.ru; **Г. Х. Гумерова** – к.т.н., доц. каф. Оборудование пищевых производств, КНИТУ, GumerovaGKh@corp.knrtu.ru; **Е. М. Готлиб** – профессор кафедры «Технология синтетического каучука» КНИТУ, GotlibEM@corp.knrtu.ru.

© **N. A. Sergin** – Master-student, Department of Chemistry and Processing Technology of Elastomers (CPTE), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, niktov02@inbox.ru; **L. Y. Zakirova** – PhD (Technical Sci.), Assistant Professor of the CPTE department, KNRTU, kel118@rambler.ru; **Yu. N. Khakimullin** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, the CPTE department, KNRTU, hakim123@rambler.ru; **G. H. Gumerova** – PhD (Technical Sci.), Assistant Professor of Department of Food Production Equipment, KNRTU, GumerovaGKh@corp.knrtu.ru; **E. M. Gotlib** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor of Synthetic Rubber Technology department, KNRTU, GotlibEM@corp.knrtu.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 12.12.24.

Дата принятия рукописи в печать – 01.06.25.