

УДК 678.028.2

А. А. Габрус¹, С. Н. Каюшников¹, А. Ю. Люштык¹,
Ж. С. Шашок², Е. П. Усс²

¹ОАО «Белшина»

²Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА РЕЗИН

Работа посвящена исследованию влияния тепловых режимов вулканизации на изменение основных кинетических параметров структурирования и физико-механических показателей обкладочных резиновых смесей и резин на их основе. В качестве объектов исследования использовались эластомерные композиции на основе натурального каучука, предназначенные для изготовления каркаса и брекера грузовых шин. Анализ кинетических параметров вулканизации обкладочных резиновых смесей показал, что, с одной стороны, повышение температуры способствует ускорению процесса их структурирования, а это проявляется в увеличении общей скорости вулканизации. С другой стороны, ужесточение температурного режима вулканизации нарушает регулярность пространственной структуры вследствие активизации побочных процессов, что приводит к снижению показателей упруго-прочностных свойств резин и эластичности по отскоку. Аналогичные зависимости изменения свойств обкладочных эластомерных композиций определены и при варьировании продолжительности вулканизации. При выборе окончательного теплового режима вулканизации автопокрышек прежде всего необходимо учитывать результаты комплексной оценки важнейших свойств основных составных элементов изделия.

Ключевые слова: резиновая смесь, вулканизация, каркас, брекер, тепловой режим, кинетика, свойство.

Для цитирования: Габрус А. А., Каюшников С. Н., Люштык А. Ю., Шашок Ж. С., Усс Е. П. Влияние тепловых режимов вулканизации на свойства резин // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 33–38.

A. A. Habrus¹, S. N. Kayushnikov¹, A. Yu. Lyushtyk¹,
Zh. S. Shashok², E. P. Uss²

¹JSC “Belshina”

²Belarusian State Technological University

INFLUENCE OF THERMAL VULCANIZATION MODES ON RUBBER PROPERTIES

The article is devoted to the study of the influence of thermal modes of vulcanization on the change in the main kinetic parameters of structuring and physical and mechanical parameters of lining rubber compounds and rubbers based on them. The objects of the study were elastomeric compositions based on natural rubber, intended for the manufacture of the carcass and breaker of truck tires. The analysis of the kinetic parameters of vulcanization for lining rubber compounds showed that increase in temperature accelerates the process of their structuring, which is manifested in an increase in the overall rate of vulcanization. On the other hand, the toughening of the temperature mode of vulcanization violates the regularity of the spatial structure due to the activation of side processes, which leads to a decrease in the indicators of the elastic-strength properties of rubbers and the rebound elasticity. Similar dependences of changes in the properties of covering elastomeric compositions were determined with varying the duration of vulcanization. When choosing the final thermal mode of tire vulcanization, first of all, it is necessary to take into account the results of a comprehensive assessment of the most important properties of the main constituent elements of the product.

Key words: rubber compound, vulcanization, carcass, breaker, thermal mode, kinetics, property.

For citation: Habrus A. A., Kayushnikov S. N., Lyushtyk A. Yu., Shashok Zh. S., Uss E. P. Influence of thermal vulcanization modes on rubber properties. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 2 (247), pp. 33–38 (In Russian).

Введение. Вулканизация является заключительной стадией процесса изготовления резиновых изделий. Выбор режима вулканизации определяет во многом качество готового изделия.

При этом следует учитывать, что технологические параметры вулканизации массивных резиновых изделий существенно отличаются от параметров изготовления других изделий.

В связи с этим при выборе режима вулканизации толстостенных изделий важно учитывать свойства среды, температуру и давление [1–3].

Использование высоких температур вулканизации позволяет интенсифицировать процесс изготовления изделий и повысить производительность оборудования. Однако при вулканизации толстостенных изделий возникают определенные трудности. Повышение температуры вследствие малой теплопроводности резины приводит к неравномерности распределения тепловых полей по толщине изделий, что негативно отразится на комплексе их физико-механических свойств. Для уменьшения неоднородности свойств при вулканизации толстостенных изделий целесообразно применять относительно невысокие температуры, что увеличит продолжительность вулканизации и энергозатраты при производстве эластомерных материалов [4, 5]. Таким образом, подбор эффективного режима вулканизации толстостенных изделий является важной и актуальной задачей получения высококачественных изделий.

Основная часть. Цель работы – определить влияние тепловых режимов вулканизации на изменение основных кинетических параметров структурирования и физико-механических показателей шинных резиновых смесей и резин на их основе.

Объектом исследования являлись эластомерные композиции на основе натурального каучука, предназначенные для изготовления металлокордного каркаса и брекера грузовых шин. Определение кинетики вулканизации исследуемых резиновых смесей проводили на безроторном реометре MDR 2000 фирмы Alpha Technologies согласно ГОСТ Р 54547–2011 [6]. Основные физико-механические показатели обкладочных резин до и после термического старения в воздушной среде оценивали в соответствии с ГОСТ 270–75, 263–75, 27110–86 [7–9]. Относительная ошибка полученных результатов не превышала 4,7% при вероятности 0,95.

Для оценки технологических и вулканизационных свойств резиновых смесей используется, прежде всего, реометрическая кривая, дающая информацию о продолжительности индукционного периода вулканизации, продолжительности вулканизации до достижения оптимума, плато вулканизации. В приборах нового поколения эта информация выдается как в графическом, так и в математически обработанном цифровом виде. Кроме основной информации, из результатов реометрических испытаний могут быть извлечены и дополнительные данные, позволяющие более полно охарактеризовать и спрогнозировать свойства резиновых смесей и вулканизатов, а также

глубже проникнуть в механизм процесса вулканизации [10, 11].

Основные вулканизационные показатели обкладочных резиновых смесей, полученные при разных температурных параметрах испытания приведены в табл. 1. Установлено, что для исследуемых резиновых смесей с увеличением температуры вулканизации уменьшаются значения минимального крутящего момента, характеризующего вязкость смесей при заданной температуре. В данном случае показатель минимального крутящего момента M_L для каркасных смесей снижается от 2,66 до 2,29 дН·м, а для брекерных – от 2,73 до 2,39 дН·м. В то же время определено неоднозначное влияние температуры вулканизации на изменение максимального крутящего момента обкладочных резин, используемого для оценки упруго-прочностных свойств вулканизатов. Так, для каркасных резин наибольшее значение (23,00 дН·м) максимального крутящего момента выявлено при температуре вулканизации 170°C, а наименьшее (21,22 дН·м) – при температуре вулканизации 160°C. При этом для брекерных резин наблюдается снижение показателя максимального крутящего момента M_H от 26,00 до 22,60 дН·м при увеличении температуры от 143 до 170°C.

Необходимо отметить, что повышение температуры вызывает опасность скорчинга резиновых смесей и в итоге приводит к потере ими необходимых технологических и эксплуатационных свойств [12, 13]. Показано, что стойкость обкладочных смесей к подвулканизации снижается до 1,05 мин, что может потребовать корректировки рецептурного состава композиций. Аналогичная зависимость определена также для показателя времени достижения оптимальной степени вулканизации резин.

Определено, что увеличение температуры вулканизации ведет к некоторому изменению пространственной сетки исследуемых резин. Показатель приращения крутящего момента ΔS позволяет косвенно охарактеризовать плотность сшивания вулканизатов [11]. Так, для каркасных резин установлено изменение показателя ΔS от температуры вулканизации по кривой с экстремумом. Наименьшее значение (18,89 дН·м) данного показателя выявлено у резины, полученной при температуре вулканизации 160°C. Для брекерных резин с увеличением температуры вулканизации от 143 до 170°C происходит снижение показателя плотности сшивки на 13,1%, что может свидетельствовать о протекании процессов деструкции в исследуемых образцах. Анализ характера изменения вулканизационных параметров показал, что значения тангенса угла механических потерь при минимальном и максимальном крутя-

щих моментах для обкладочных смесей увеличиваются с повышением температуры вулканизации, за исключением показателя $\text{tg}\delta$ (M_H) каркасных резин.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что температура оказывает определяющее влияние на кинетические параметры процесса вулканизации. С одной стороны, повышение температуры способствует ускорению формирования действительного агента вулканизации и его участия в образовании подвесок и поперечных связей вулканизаторов, что увеличивает общую скорость вулканизации (табл. 1). С другой стороны, вулканизация представляет собой сложный физико-химический процесс, который сопровождается не только сшиванием макромолекул каучука химическими связями различной энергии и природы, но и нарушением регулярности полимерной цепи вследствие протекания побочных процессов (окисление, циклизация, изомеризация, разветвление макромолекул и др.). Развитие таких процессов определяется, прежде всего, условиями вулканизации и рецептурным составом эластомерной композиции [13, 14]. Характер изменения показателей M_H , ΔS в зависимости от температуры вулканизации свидетельствует об увеличении доли процессов, приводящих к неоднородности пространственной структуры, что будет ухудшать некоторые физико-механические характеристики исследуемых резин.

В табл. 2 приведены результаты исследования влияния температурно-временных параметров вулканизации на физико-механические характеристики обкладочных резин. Анализ результатов упруго-прочностных свойств об-

кладочных резин до теплового старения показал, что для каркасных резин при температуре 143°C с увеличением времени вулканизации повышается показатель условного напряжения при 300%-ном удлинении на 11,4% (от 16,6 до 18,5 МПа), при этом уменьшается на 9,2% условная прочность при растяжении (от 24,9 до 22,6 МПа) и на 18,2% (от 440 до 360%) относительное удлинение при разрыве. Выявленный характер изменения свойств может быть связан с увеличением густоты сетки поперечных связей, затрудняющей ориентацию молекулярных сегментов при растяжении. При температуре 160°C время вулканизации оказывает значительное влияние на условное напряжение при 300%-ном удлинении. Так, наибольший показатель условного напряжения при удлинении 300% имеет каркасная резина, полученная при времени вулканизации 20 мин (17,5 МПа), наименьшие значения выявлены при вулканизации в течение 10 и 90 мин (15,7 и 15,2 МПа соответственно). При этом с увеличением времени вулканизации уменьшается на 19,0% условная прочность при растяжении. Выявлено, что наилучшими эластическими свойствами характеризуется резина, полученная при времени вулканизации 10 мин (значение указанного показателя составляет 440%), наименьшими – при времени вулканизации 90 мин (показатель равен 360%). Определено, что при дальнейшем увеличении температуры до 170°C и продолжительности вулканизации до 40 мин проявляется аналогичная тенденция изменения упруго-прочностных характеристик каркасных резин в зависимости от времени вулканизации, как и при температуре 160°C.

Таблица 1

Основные вулканизационные показатели обкладочных резиновых смесей

Температура, °C	Показатели								
	M_L , дН·м	M_H , дН·м	t_{s2} , мин	t_{50} , мин	t_{90} , мин	R_h , дН·м/мин	ΔS , дН·м	$\text{tg}\delta$ (M_H)	$\text{tg}\delta$ (M_L)
Назначение смеси – каркас									
143	2,66	22,73	8,46	14,22	23,23	1,72	20,07	0,095	0,560
160	2,33	21,22	2,25	4,13	7,28	4,90	18,89	0,090	0,592
170	2,29	23,00	1,08	2,10	4,10	9,68	20,71	0,091	0,607
Назначение смеси – брекер									
143	2,73	26,00	8,01	13,35	24,09	2,05	23,27	0,085	0,527
160	2,47	24,49	2,08	3,53	7,11	6,10	22,02	0,090	0,551
170	2,39	22,60	1,05	1,55	3,32	11,16	20,21	0,098	0,556

Примечание. M_L – минимальный крутящий момент, дН·м; M_H – максимальный крутящий момент, дН·м; t_{s2} – время увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы, мин; t_{50} – время достижения заданной степени вулканизации, мин; t_{90} – время достижения оптимальной степени вулканизации, мин; R_h – скорость вулканизации, дН·м/мин; ΔS – разница между максимальным и минимальным крутящими моментами, дН·м; $\text{tg}\delta$ (M_H) – тангенс угла механических потерь при максимальном крутящем моменте; $\text{tg}\delta$ (M_L) – тангенс угла механических потерь при минимальном крутящем моменте.

Таблица 2

Технические характеристики обкладочных резин до и после теплового старения

Показатель	Показатели обкладочных резин, свулканизованных при различных температурно-временных параметрах												
	143°C				160°C					170°C			
	30 мин	40 мин	60 мин	90 мин	10 мин	20 мин	30 мин	60 мин	90 мин	5 мин	10 мин	20 мин	40 мин
Назначение смеси – каркас													
f_{ϵ}	16,6	17,2	17,3	18,5	15,7	17,5	17,1	15,6	15,2	14,7	16,1	15,9	13,4
f	24,9	23,7	22,3	22,6	23,7	22,4	22,1	20,1	19,2	23,2	22,6	20,6	19,2
ϵ	440	400	370	360	440	390	390	390	360	450	400	380	400
H	77	77	77	78	77	77	76	75	75	74	74	73	72
\mathcal{E}	43	42	40	38	41	40	38	36	32	38	35	34	31
Назначение смеси – брекер													
f_{ϵ}	18,7	19,0	20,3	20,1	17,1	18,8	19,5	17,3	15,8	16,1	17,4	17,0	15,6
f	24,8	23,2	22,3	21,9	23,0	21,8	21,7	20,5	18,5	24,3	21,2	20,7	19,1
ϵ	440	390	340	350	410	360	350	360	350	450	400	370	390
H	74	75	75	77	75	75	75	74	75	76	75	73	72
\mathcal{E}	43	43	41	39	41	40	37	36	33	42	40	35	32

Примечание. f_{ϵ} – условное напряжение при удлинении 300%, МПа; f – условная прочность при растяжении, МПа; ϵ – относительное удлинение при разрыве, %; H – твердость, усл. ед. Шор А; \mathcal{E} – эластичность по отскоку.

Таким образом, в результате определения упруго-прочностных свойств каркасных резин выявлено, что при более высоких температурах вулканизации (160 и 170°C) по истечении определенного времени вулканизации в объеме эластомерной матрицы процесс деструкции преобладает над процессом структурирования, что и приводит к снижению прочностных показателей резин.

Для брекерных резин выявлено, что при температуре 143°C время вулканизации не оказывает существенного влияния на условное напряжение при 300%-ном удлинении (изменение не превышает 7,4%). Однако с увеличением времени процесса вулканизации при данной температуре происходит снижение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве до 22,7%. В то же время при температуре вулканизации 160°C наиболее чувствительным параметром продолжительности вулканизации является условное напряжение при 300%-ном удлинении. В данном случае изменение условного напряжения резин достигает 16,0%. Так, наибольшее значение условного напряжения при удлинении 300% для резины, полученной в течение 30 мин, равно 19,5 МПа, а наименьшее для резины, свулканизованной в течение 90 мин, – 15,8 МПа. С увеличением времени вулканизации также уменьшается на 19,6% условная прочность при растяжении. Характер изменения прочностных свойств может быть обусловлен изменением структуры пространственной сетки, влияющей

на конформационные переходы молекулярных цепей при деформации. Сравнительный анализ значений относительного удлинения при разрыве показал, что эластические свойства резины при температуре 160°C с увеличением времени вулканизации уменьшаются и находятся в пределах 410–350%. Аналогичная зависимость снижения прочностных характеристик от времени вулканизации установлена для брекерных резин и при температуре 170°C. Такой характер изменения свойств, прежде всего, может быть обусловлен увеличением доли побочных реакций вулканизации, приводящих к распаду и перегруппировке полисульфидных поперечных связей, модификации молекул каучука.

Результаты исследований твердости по Шору А обкладочных резин показали, что значения данного показателя изменяются незначительно в зависимости от температурно-временных параметров вулканизации. Так, при варьировании технологических режимов вулканизации твердость образцов каркасных и брекерных резин находится в пределах ± 4 усл. ед. Шор А.

Для характеристики эластических свойств резины при быстрых однократных деформациях ее часто подвергают испытанию на удар. Показателем эластичности при ударе является отношение работы, возвращаемой деформированным при ударе образцом, к работе, затраченной на эту деформацию при ударе, что численно равно отношению высоты отскока свободно падающего на резиновый образец маятника к высоте его падения. Иногда этот

показатель называют полезной упругостью при ударной нагрузке [15]. Сравнительный анализ данных, полученных при определении эластичности по отскоку исследуемых резин, показал, что с повышением температуры и времени вулканизации данный показатель уменьшается на 4,7–7,3% для каркасных резин и на 4,7–23,8% для брекерных резин. Наибольшей эластичностью по отскоку характеризуются обкладочные резины, свулканизованные при температуре 143°C. При этом значение показателя изменяется в диапазоне от 43 до 38% в зависимости от времени структурирования.

Таким образом, на основании проведенных исследований определено, что получение высококачественных изделий из эластомеров невозможно без правильного подбора технологических режимов вулканизации. Установлено, что с повышением температуры и продолжитель-

ности структурирования эластомерных композиций повышается доля побочных реакций, что приводит к изменению пространственной структуры вулканизатов и может ухудшать их физико-механические показатели.

Заключение. Установлено, что повышение температуры вулканизации способствует увеличению скорости процесса и позволяет снизить энергозатраты при производстве изделий. Однако следует учитывать ухудшение свойств резин при использовании высоких температур и большой продолжительности вулканизации обкладочных смесей вследствие развития процессов, приводящих к неоднородности структуры резин на их основе. Выбор окончательного теплового режима вулканизации многослойных изделий необходимо проводить по результатам оценки комплекса важнейших свойств составных элементов изделия.

Список литературы

1. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. М.: Истек, 2009. 504 с.
2. Минигалиев Т. Б., Дорожкин В. П. Технология резиновых изделий. Казань: КГТУ, 2009. 236 с.
3. Лукомская А. И. Технология вулканизации шин и резиновых технических изделий. М.: Высш. шк., 1971. 205 с.
4. Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий / В. И. Молчанов [и др.] // Труды БГТУ. 2014. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 100–104.
5. Аветисян А. Л., Вольнов А. А. Методы нагрева и прессования шин при вулканизации и перспективы их использования в условиях роста цен на энергоресурсы // Вопросы практической технологии изготовления шин. 2002. № 2. С. 89–92.
6. Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безроторных реометров: ГОСТ Р 54547–2011. Введ. 29.11.2011. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.
7. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: ГОСТ 270–75. Взамен ГОСТ 270–64. Введ. 01.01.76. М.: Изд-во стандартов, 1975. 29 с.
8. Резина. Методы определения твердости по Шору А: ГОСТ 263–75. Взамен ГОСТ 263–53. Введ. 01.01.1977. М.: Изд-во стандартов, 1975. 7 с.
9. Резина. Метод определения эластичности по отскоку на приборе типа Шоба: ГОСТ 27110–86 (СТ СЭВ 108–85). Введ. 01.07.87. М.: Изд-во стандартов, 1987. 11 с.
10. Шайдаков В. В. Свойства и испытания резин. М.: Химия, 2002. 227 с.
11. Аверко-Антонович И. Ю., Бикмуллин Р. Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.
12. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.
13. Федюкин Д. Л., Махлис Ф. А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.
14. Мартин Дж. М., Смит У. К. Производство и применение резинотехнических изделий. СПб.: Профессия, 2006. 477 с.
15. Бергштейн Л. А. Лабораторный практикум по технологии резины. Л.: Химия, 1989. 248 с.

References

1. Kornev A. E., Bukanov A. M., Sheverdyayev O. N. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology of elastomeric materials]. Moscow, Istek Publ., 2009. 504 p.
2. Minigaliev T. B., Dorozhkin V. P. *Tekhnologiya rezinovykh izdeliy* [Technology of rubber products]. Kazan, KSTU Publ., 2009. 236 p.
3. Lukomskaya A. I. *Tekhnologiya vulkanizatsii shin i rezinovykh tekhnicheskikh izdeliy* [Technology of vulcanization of tires and rubber technical products]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 205 p.

4. Molchanov V. I., Karmanova O. V., Tikhomirov S. G., Pyatakov Yu. V., Kasperovich A. V. Modeling the kinetics of nonisothermal vulcanization of massive rubber products. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 4: Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology, pp. 100–104 (In Russian).
5. Avetisyan A. L., Volnov A. A. Methods of heating and pressing tires during vulcanization and the prospects for their use in conditions of rising prices for energy resources. *Voprosy prakticheskoy tekhnologii izgotovleniya shin* [Questions of practical tire manufacturing technology], 2002, no. 2, pp. 89–92 (In Russian).
6. GOST 54547–2011. Rubber mixtures. Determination of vulcanization characteristics using rotorless rheometers. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 16 p. (In Russian).
7. GOST 270–75. Rubber. Method for determining elastic tensile properties. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1975. 29 p. (In Russian).
8. GOST 263–75. Rubber. Shore A hardness determination method. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1975. 7 p. (In Russian).
9. GOST 27110–86. Rubber. Method for determining the rebound elasticity using a Shoba-type device. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1987. 11 p. (In Russian).
10. Shaidakov V. V. *Svoystva i ispytaniya rezin* [Properties and testing of rubbers]. Moscow, Khimiya Publ., 2002. 227 p.
11. Averko-Antonovich I. Yu., Bikmullin R. T. *Metody issledovaniya struktury i svoystv polimerov* [Methods for studying the structure and properties of polymers]. Kazan, KGTU Publ., 2002. 604 p.
12. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Khlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk, Filial RosZITLP Publ., 2003. 276 p.
13. Fedyukin D. L., Makhlis F. A. *Tekhnicheskiye i tekhnologicheskiye svoystva rezin* [Technical and technological properties of rubbers]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p.
14. Martin J. M., Smith W. K. *Proizvodstvo i primeneniye rezinotekhnicheskikh izdeliy* [Production and application of rubber products]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2006. 477 p.
15. Bergshteyn L. A. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii reziny* [Laboratory workshop on rubber technology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989. 248 p.

Информация об авторах

Габрусь Александра Александровна – инженер-технолог технологического сектора массовых шин центральной заводской лаборатории инженерно-технического центра. ОАО «Белшина» (213824, г. Бобруйск, ул. Минское шоссе, Республика Беларусь). E-mail: sasha21596@mail.ru

Каюшников Сергей Николаевич – кандидат технических наук, начальник инженерно-технического центра. ОАО «Белшина» (213824, г. Бобруйск, ул. Минское шоссе, Республика Беларусь). E-mail: vdv90@mail.ru

Люштык Андрей Юрьевич – главный химик – начальник лаборатории. ОАО «Белшина» (213824, г. Бобруйск, ул. Минское шоссе, Республика Беларусь). E-mail: jb133xxxx@gmail.com

Шашок Жанна Станиславовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Усс Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: uss@belstu.by

Information about the authors

Habrus Aleksandra Aleksandrovna – Process Engineer of the Technological Sector of Mass Tires of Central Factory Laboratory of Engineering and Technical Center. JSC “Belshina” (Minskoye shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: sasha21596@mail.ru

Kayushnikov Sergey Nikolaevich – PhD (Engineering), Head of the Engineering and Technical Center. JSC “Belshina” (Minskoye shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: vdv90@mail.ru

Lyushtyk Andrey Yur'yevich – Chief Chemist – Head of the Laboratory. JSC “Belshina” (Minskoye shosse str., 213824, Bobruisk, Republic of Belarus). E-mail: jb133xxxx@gmail.com

Shashok Zhanna Stanislavovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by

Uss Elena Petrovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uss@belstu.by

Поступила 05.04.2021