

УДК 678.046

**Е. П. Усс, Ж. С. Шашок, О. А. Кротова**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ**

Исследована возможность применения имидопроизводной стабилизирующей добавки в рецептурах резиновых смесей на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков; выявлено ее влияние на стойкость резин к воздействию температурно-силовых полей. Стабилизирующая добавка получена в результате взаимодействия изобутилена и малеинового ангидрида в присутствии аминоксодержащего соединения. Образцом сравнения являлась эластомерная композиция с промышленной стабилизирующей системой, включающей химические (дусантокс 6PPD и ацетонанил Н) и физический (защитный воск Окерин) противостарители. Установлено, что частичная замена дусантокс 6PPD и ацетонанил Н на опытную добавку обеспечивает повышение до 15,6% упруго-прочностных показателей при нормальных условиях испытания. Выявлено снижение модуля при 300%-м удлинении образцов резин, что может быть обусловлено пластифицирующим действием стабилизирующей добавки. Показано, что введение исследуемой добавки способствует увеличению до 12,9% значения плотности поперечного сшивания резин по сравнению с образцом, содержащим промышленные противостарители. Определено, что частичная замена химического противостарителя ацетонанила Н на 25 и 50% исследуемой стабилизирующей добавкой приводит к сохранению упруго-прочностных свойств резин после термоокислительного старения на уровне образца сравнения.

**Ключевые слова:** эластомерная композиция, стабилизирующая добавка, упруго-прочностные свойства, плотность сшивания, теплостойкость.

**E. P. Uss, Zh. S. Shashok, O. A. Krotova**  
Belarusian State Technological University

### **PROPERTIES OF ELASTOMERIC COMPOSITIONS WITH STABILIZING ADDITIVES**

The possibility of using imide stabilizing additives in rubber mixtures based on combination of synthetic polyisoprene and polybutadiene rubbers has been investigated; the influence of the additive on rubber resistance to the effects of temperature-force fields has been established. The stabilizing additive is obtained by interaction of isobutylene and maleic anhydride in the presence of an iminocontaining compound. An example of comparison was an elastomeric composition with an industrial stabilizing system including chemical (dusantox 6PPD and acetonyl N) and physical (protective wax Okerin) stabilizers. It was established that the partial replacement of dusantox 6PPD and acetonyl N by experimental additive provides an increase of up to 15.6% of elastic and strength parameters under normal test conditions. A decrease in modulus at 300% elongation of rubber samples was revealed, what may be caused by the plasticizing effect of the stabilizing additive. It was shown that the using of the studied additive in all studied dosages contributes to an increase of up to 12.9% of the crosslink density of rubbers in comparison with the sample containing industrial stabilizers. It was determined that the partial replacement of chemical antioxidant acetonyl N by 25 and 50% of the studied stabilizing additive leads to the preservation of elastic and strength properties of rubbers after thermooxidative aging at the level of reference sample.

**Key words:** elastomeric composition, stabilizing additive, elastic and strength properties, crosslink density, heat resistance.

**Введение.** При длительном хранении или эксплуатации каучуков, резин и резиновых изделий неизбежно происходит процесс старения под воздействием различных факторов: механических нагрузок, циклических деформаций, воздействия кислорода, озона, тепла, света и др., приводящих к снижению их сроков службы и хранения. Эти факторы, действуя

раздельно или в совокупности, вызывают в полимерах развитие необратимых химических реакций двух типов: деструкции, протекающей с разрывом химических связей в макромолекулах и приводящей к уменьшению степени полимеризации и молекулярной массы полимера, и структурирования, когда происходит сшивание цепей, что приводит к увеличению густоты пространственной сетки. Изменение молекулярной структуры приводит к изменениям в

свойствах полимерного материала: теряется эластичность, повышается жесткость и хрупкость, снижается механическая прочность, ухудшаются диэлектрические показатели, изменяется цвет, гладкая поверхность становится шероховатой и т. д. [1, 2].

Одним из наиболее распространенных и опасных видов старения резин является старение, протекающее под влиянием атмосферного озона, приводящее к растрескиванию и разрушению резин из ненасыщенных каучуков, находящихся в напряженном состоянии [3]. Эффективным способом стабилизации свойств резин при действии атмосферных факторов является совместное применение химических и физических противостарителей. В данном случае действие химических противостарителей сводится к ингибированию процессов деструкции макромолекул каучуков. В то же время физические противостарители мигрируют к поверхности резин и образуют на ней защитную пленку, препятствующую взаимодействию озона с каучуком [4, 5]. В настоящее время ведется активный поиск новых высокоэффективных соединений, позволяющих повысить стойкость эластомерных материалов к внешним воздействиям и расширить области применения изделий на их основе [6–11]. В связи с этим расширение ассортимента стабилизирующих добавок для эластомерных композиций с целью повышения качества готовых изделий является весьма актуальной задачей.

**Основная часть.** Целью работы являлось исследование возможности применения имида-производной стабилизирующей добавки в резиновых смесях на основе каучуков общего назначения и оценка ее влияния на стойкость резин к воздействию температурно-силовых полей.

Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков, предназначенные для изготовления изделий, работающих в динамических условиях при тепловом и атмосферном воздействии. В качестве стабилизирующей добавки использовали олигомерное имидазное производное, полученное в результате взаимодействия изобутилена и малеинового ангидрида в присутствии аминоксодержащего соединения. Известно [12–13] применение исследуемых веществ в качестве присадок к моторным маслам, обладающих диспергирующим действием ввиду своих поверхностно-активных свойств. Кроме того, данные вещества способны замедлять процессы окисления углеводородных масел и нейтрализовать образующиеся кислоты. Образцом сравнения являлась эластомерная композиция с промышленной стабили-

зирующей системой, включающей химические (дусантокс 6PPD и ацетонанил Н) и физический (защитный воск Окерин) противостарители. Применение ацетонанила Н в сочетании с дусантоксом 6PPD обеспечивает синергический эффект в защитном действии, в результате чего резко увеличивается тепло-, озоностойкость и усталостная выносливость [14]. Содержание промышленных противостарителей в исследуемой резиновой смеси обусловлено, прежде всего, условиями эксплуатации резиновых изделий и составляет 2,5, 2,0 и 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука для дусантокса 6PPD, ацетонанила Н и окерина соответственно. Имида-производную стабилизирующую добавку вводили в образцы исследуемых эластомерных композиций взамен 25 и 50%-го содержания промышленных химических противостарителей. Для улучшения потребительских свойств исследуемой стабилизирующей добавки в нее введено около 10% мас. предельных углеводов, что позволило в равнозначной степени снизить содержание промышленного физического противостарителя.

Упруго-прочностные характеристики образцов определяли на разрывной машине Тензометр Т 220 DC в соответствии с ГОСТ 270-75. Стойкость образцов к термическому старению в среде воздуха оценивали по изменению относительного удлинения при разрыве и условной прочности при растяжении после выдержки их в термостате при температуре  $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение  $(72 \pm 1)$  ч, испытание проводили в соответствии с ГОСТ 9.024-74. Твердость по Шор А вулканизатов измеряли на приборе DIGI-TEST Автомат по ГОСТ 263-75. Влияние стабилизирующих добавок на параметры вулканизационной сетки наполненных резин оценивали по значениям плотности поперечных сшивок, рассчитанных по уравнению Флори – Ренера на основании данных равновесного набухания образцов в толуоле.

Прочность является основной характеристикой конструкционных материалов и определяет сопротивление материала разрушению под влиянием механических воздействий, характеризующихся предельным для данного режима нагружения напряжением, при котором происходит разрушение [15]. Прочностные показатели широко используются для количественной оценки свойств резин и каучуков, при разработке новых рецептур резиновых смесей и подборе оптимальных условий вулканизации, а также для контроля качества резин различного назначения и т. д. Результаты исследования физико-механических показателей резин со стабилизирующими добавками представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-механические показатели резин со стабилизирующими добавками**

Наименование противостарителя	Соотношение компонентов	Условное напряжение при 300%-м удлинении, МПа	Условная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость резин, усл. ед. Шор А
Образец сравнения	–	5,9	16,9	640,0	46,8
Стабилизирующая добавка, дусантокс 6PPD, ацетонанил Н	0,25:0,75:1	4,5	18,6	720,0	48,0
	0,5:0,5:1	5,2	18,8	720,0	46,8
	0,25:1:0,75	5,3	16,8	630,0	50,9
	0,5:1:0,5	4,7	18,7	740,0	48,1

Анализ результатов испытаний физико-механических свойств показал, что введение исследуемой стабилизирующей добавки приводит к некоторому снижению показателя условного напряжения при 300%-м удлинении. Наилучшие значения показателя достигаются для образцов резин, содержащих имидопроизводную стабилизирующую добавку при замене 25%-го содержания ацетонанила Н и 50%-го дусантокса 6PPD. Однако в случае комбинации компонентов в соотношениях 0,25:0,75:1 и 0,5:1:0,5 наблюдается снижение значений условного напряжения при 300%-м удлинении на 20,3–23,7%. Снижение модуля при 300%-м удлинении образцов резин может быть обусловлено проявлением пластифицирующего действия стабилизирующей добавки, обладающей свойствами поверхностно-активных веществ. В то же время использование исследуемых добавок при частичной замене промышленных химических противостарителей способствует увеличению до 11,2% значения условной прочности при растяжении и до 15,6% значения относительного удлинения при разрыве. Следует отметить, что образец резины, содержащей исследуемую добавку при замене 25%-го содержания ацетонанила Н, обеспечивает комплекс физико-механических показателей на уровне образца сравнения. Установлено, что наибольшее влияние на изменение показателя твердости по Шору А оказывает введение стабилизи-

рующей добавки с заменой 25%-го содержания ацетонанила Н. В данном случае увеличение значения показателя твердости резин составляет 4,1 ед. Шор А по сравнению с резинами, содержащими промышленные противостарители. Такой характер изменения свойств резин с исследуемой имидопроизводной стабилизирующей добавки, вероятно, связан с участием данной олигомерной добавки в процессе вулканизации и изменением структуры сетки и типа образующихся поперечных связей.

Результаты исследования влияния стабилизирующих добавок на характеристики вулканизационной сетки резин представлены в табл. 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 2, введение стабилизирующей добавки во всех исследуемых дозировках способствует некоторому увеличению (до 12,9%) значения плотности поперечного сшивания резин по сравнению с образцом, содержащим промышленные противостарители. Увеличение плотности сшивания, возможно, связано с проявлением стабилизирующей добавкой поверхностно-активных свойств в исследуемой эластомерной композиции и ее влиянием на распределение компонентов вулканизирующей группы в объеме полимерной матрицы. Кроме того, исследуемая олигомерная добавка может также оказывать влияние и на процесс формирования сетчатой структуры вулканизата и природу образующихся при вулканизации поперечных связей.

Таблица 2

**Характеристика вулканизационной сетки резин со стабилизирующими добавками**

Наименование противостарителя	Соотношение компонентов	$M_c$ , г/моль	$\nu \cdot 10^5$ , моль/см <sup>3</sup>	$n \cdot 10^{-19}$ , см <sup>-3</sup>
Образец сравнения	–	14 780,0	6,22	3,74
Стабилизирующая добавка, дусантокс 6PPD, ацетонанил Н	0,25:0,75:1	14 090,0	6,53	3,93
	0,5:0,5:1	13 794,0	6,67	4,02
	0,25:1:0,75	13 110,0	7,02	4,22
	0,5:1:0,5	14 037,0	6,56	3,95

*Примечание.*  $M_c$  – средняя молекулярная масса отрезка цепи между узлами сетки, г/моль;  $n$  – концентрация поперечных связей, см<sup>-3</sup>;  $\nu$  – плотность поперечного сшивания, моль/см<sup>3</sup>.

Таблица 3

**Влияние содержания стабилизирующих добавок на коэффициенты сохранения упруго-прочностных показателей резин**

Наименование противостарителя	Соотношение компонентов	Коэффициент теплостойкости	
		по условной прочности при растяжении	по относительному удлинению при разрыве
Образец сравнения	–	0,96	0,92
Стабилизирующая добавка, дусантокс 6PPD, ацетонанил Н	0,25:0,75:1	0,96	0,79
	0,5:0,5:1	0,94	0,76
	0,25:1:0,75	0,99	0,90
	0,5:1:0,5	0,99	0,91

Одной из основных характеристик действия противостарителей является сохранение прочностных характеристик после воздействия повышенных температур и агрессивных сред. В процессе эксплуатации при воздействии указанных факторов возможна быстрая потеря противостарителя, что может вызвать разрушение изделия [2]. При действии повышенных температур в каучуках происходит разрыв углерод-углеродных связей в цепи или отрыв водорода от СН-группы, что сопровождается образованием свободных радикалов. В результате этих процессов протекает деструкция макромолекул, происходит выделение жидких и газообразных продуктов, мономеров, циклических структур, олигомеров. Возможно также беспорядочное сшивание макромолекул за счет взаимодействия полимерных радикалов и образование разветвленных и сшитых структур [16]. Характер и скорость этих процессов зависят от типа каучука, состава резиновой смеси, температуры, механического воздействия, окружающей среды [2]. Количественной характеристикой теплостойкости служит коэффициент теплостойкости (коэффициент старения), под которым понимают отношение показателей каких-либо механических свойств после старения к тем же показателям до старения [16]. В табл. 3 приведены результаты исследований стойкости резин к воздействию повышенной температуры в среде воздуха при температуре  $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение  $(72 \pm 1)$  ч.

Анализ полученных данных, представленных в табл. 3, показал, что частичная замена химического противостарителя ацетонанила Н на 25 и 50% исследуемой стабилизирующей добавкой приводит к сохранению упруго-прочностных свойств резин после термоокислительного старения на уровне образца сравнения. В данном случае для образцов резин, содержащих стабилизирующую добавку, дусантокс 6PPD и ацетонанил Н, в соотношениях 0,25:1:0,75 и 0,5:1:0,5 значения коэффициентов теплостойкости по условной прочности при растяжении составляют 0,99, а по относитель-

ному удлинению при разрыве – 0,90 и 0,91 соответственно. Для образца сравнения значения коэффициентов теплостойкости равны 0,92–0,96. В случае замены дусантокса 6PPD на опытную добавку при всех соотношениях выявлено снижение показателя относительного удлинения при разрыве в большей степени по сравнению с образцом, содержащим промышленные противостарители в исходных дозировках. Эффективность действия исследуемой стабилизирующей добавки в составе эластомерных композиций на основе комбинации синтетических полиизопренового и полибутадиенового каучуков, прежде всего, связана с их химическим строением, определяющим механизм их защитного действия в процессе термоокисления. Кроме того, концентрация поперечных связей может оказывать некоторое влияние на тепловое старение резин на основе непредельных каучуков. Известно [16], что наибольшая стойкость к старению наблюдается в оптимуме вулканизации, поскольку при очень больших концентрациях сшивок увеличивается неоднородность сеток, которая неблагоприятно сказывается на всех свойствах резин. Снижение теплостойкости резин может быть также связано с особенностями природы поперечных связей вулканизационной сетки в случае замены дусантокса 6PPD на исследуемую стабилизирующую добавку.

**Заключение.** Таким образом, результаты исследования влияния имидопроизводной стабилизирующей добавки на свойства эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения показали перспективность применения данных добавок в качестве противостарителей резин. Установлена высокая эффективность комбинаций опытной добавки, дусантокса 6PPD и ацетонанила Н в соотношениях 0,25:1:0,75 и 0,5:1:0,5 в исследуемых наполненных резинах при снижении содержания на 10% промышленного физического противостарителя – защитного воска Окерина. Введение опытной добавки в указанных дозировках в эластомерные композиции

приводит к повышению упруго-прочностных характеристик до 15,6%, а также обеспечивает защиту резин от термоокислительного старения на достаточно высоком уровне. Выявлено, что введение стабилизирующей добавки во

всех исследуемых дозировках способствует увеличению до 12,9% значения плотности поперечного сшивания резин по сравнению с образцом, содержащим промышленные противостарители.

### Литература

1. Брацыхин Е. А., Шульгина Э. С. Технология пластических масс. Изд. 3. Ленинград: Химия, 1982. 328 с.
2. Федюкин Д. Л., Махлис Ф. А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.
3. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М.: Научное издание, 2008. 383 с.
4. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов: учеб. для вузов. М.: Истек, 2009. 502 с.
5. Зув Ю. С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации. М.: Химия, 1980. 288 с.
6. Влияние композиций антиоксидантов, содержащих метилбензилированные фенолы, на стабильность свойств резин на основе каучуков общего назначения / Д. П. Шалымина [и др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. 2011. Т. 14, № 6. С. 162–165.
7. Дорофеев А. Н., Курлянд С. К., Земский Д. Н. Влияние нового противостарителя на физико-механические свойства резин // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 4, С. 128–129.
8. Чиркова Ю. Н., Дорофеев А. Н., Гайфетдинов Р. Р. Влияние стабилизатора класса *N*-фенил, *N*'-оксиалкил-*n*-фенилендиамин на стойкость резин к термоокислительному и озонному старению // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 3, С. 98–102.
9. Natural antioxidants as stabilizers for polymers / В. Kirschweg [et al.] // Polymer Degradation and Stability. 2017. Vol. 145. P. 25–40.
10. Ушмарин Н. Ф., Кавун С. М., Винокуров Ю. В. Новые антиозонанты резин на основе оксиалкилированных производных 4-аминодифениламина // Каучук и резина. 2017. № 1. С. 36–41.
11. Изучение влияния малолетучих и нетоксичных функционализированных фенольных антиоксидантов на физико-механические свойства резин на основе БНКС-18 / М. Д. Соколова [и др.] // Каучук и резина. 2018. № 5. С. 320–325.
12. Эрих В. Н., Расина М. Г., Рудин М. Г. Химия и технология нефти и газа. Ленинград: Химия, 1977. 424 с.
13. Литвинец И. В. Влияние ингибирующих присадок на процесс образования асфальтосмолопарафиновых отложений нефтяных дисперсных систем. Дис. канд. техн. наук: 02.00.13. Томск, 2015. 181 с.
14. Большой справочник резинщика. Часть 1. Каучуки и ингредиенты / под ред. С. В. Резниченко. М.: Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2012. 744 с.
15. Бергштейн Л. А. Лабораторный практикум по технологии резины. Ленинград: Химия, 1989. 248 с.
16. Жовнер Н. А., Чиркова Н. В., Хлебов Г. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. 276 с.

### References

1. Bratsykhin Ye. A., Shul'gina E. S. *Tekhnologiya plasticheskikh mass* [Plastic mass technology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 328 p.
2. Fedyukin D. L., Makhlis F. A. *Tekhnicheskiye i tekhnologicheskiye svoystva rezin* [Technical and technological properties of rubbers]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p.
3. Pichugin A. M. *Materialovedcheskiye aspekty sozdaniya shinnykh rezin* [Material science aspects of creating tire rubber]. Moscow, Nauchnoye izdaniye Publ., 2008. 383 p.
4. Kornev A. E., Bukanov A. M., Sheverdjaev O. N. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology of elastomeric materials]. Moscow, Istek Publ., 2009. 502 p.
5. Zuev Ju. S. *Razrusheniye elastomerov v usloviyakh, kharakternykh dlya ekspluatatsii* [The destruction of the elastomers under conditions typical for the operation]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 288 p.
6. Shalymina D. P., Cherezova E. N., Ushmarin N. F., Chernova N. A., Isaakova S. A. Influence of compositions of the antioxidants containing metilbenzilirovanny phenols on stability of properties of rubbers on the basis of rubbers of general purpose. *Vestnik KTU* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2011, vol. 14, no. 6, pp. 162–165 (In Russian).

7. Dorofeev A. N., Kurljand S. K., Zemskij D. N. Influence of new antiager on physicomechanical properties of rubbers. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2015, vol. 18, no. 4, pp. 128–129 (In Russian).
8. Chirkova Ju. N., Dorofeev A. N., Gajfedinov R. R. Influence of the stabilizer of the class *N*-phenyl, *N'*-oxyalkyl-*p*-phenylenediamine on resistance of rubbers to thermooxidizing and ozonic aging. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2018, vol. 21, no. 3, pp. 98–102 (In Russian).
9. Kirschweg B., Tátraaljai D., Földes E., Pukánszky B. Natural antioxidants as stabilizers for polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, vol. 145, pp. 25–40.
10. Ushmarin N. F., Kavun S. M., Vinokurov Ju. V. New antiozonant of rubbers on a basis the oksialkilirovannykh derivative 4-aminodiphenylamines. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 2017, no. 1, pp. 36–41 (In Russian).
11. Sokolova M. D., Fedorova A. F., Davydova M. L., Krysin A. P., Shul'c Je. Je., Haldeeva A. R. Studying of influence low-flying and non-toxic the funktsionalizirovannykh of phenolic antioxidants on physicomechanical properties of rubbers on the basis of BNKS-18. *Kauchuk i rezina* [Kauchuk and rubber], 2018, no. 5, pp. 320–325 (In Russian).
12. Jerih V. N., Rasina M. G., Rudin M. G. *Khimiya i tekhnologiya nefiti i gaza* [Chemistry and technology of oil and gas]. Leningrad, Khimiya Publ., 1977. 424 p.
13. Litvinec I. V. *Vliyaniye ingibiruyushchikh prisadok na protsess obrazovaniya asfal'tosmoloparafinovyykh otlozheniy neftyanykh dispersnykh sistem: Dis. kand. techn. nauk* [Influence of the inhibiting additives on education process the asfaltosmoloparafinovyykh of deposits of oil disperse systems]. Tomsk, 2015. 181 p.
14. Reznichenko S. V. *Bo' shoy spravochnik rezinshchika. Chast' 1. Kauchuki i ingredienty* [Big reference book of a rezinshchik. Part 1. Rubbers and ingredients]. Moscow, Tehinform Publ., 2012. 744 p.
15. Bergshtejn L. A. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii reziny* [Laboratory workshop on technology of rubber]. Leningrad, Khimiya Publ., 1989. 248 p.
16. Zhovner N. A., Chirkova N. V., Hlebov G. A. *Struktura i svoystva materialov na osnove elastomerov* [Structure and properties of materials based on elastomers]. Omsk: RosZITLP Publ., 2003. 276 p.

#### Информация об авторах

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

**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](mailto:shashok@belstu.by)

**Кротова Ольга Александровна** – кандидат технических наук, ассистент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [o.krotova@belstu.by](mailto:o.krotova@belstu.by)

#### Information about the authors

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

**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](mailto:shashok@belstu.by)

**Krotova Olga Aleksandrovna** – PhD (Engineering), Assistant, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [o.krotova@belstu.by](mailto:o.krotova@belstu.by)

Поступила 03.04.2019