

УДК 678.4.06

Р. М. Долинская, С. А. Гугович, Н. Р. Прокопчук
Белорусский государственный технологический университет

СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Изучено влияние катализаторов, вулканизирующего агента, активаторов и акцепторов вулканизации, диспергаторов на физико-механические свойства композиций на основе фторкаучуков.

В качестве катализаторов фторкаучука Вайтон GLT использованы соединения: $C_{22}H_{40}N_5Br$ – гептаэтилфенилбигуанидинийбромид (I); $C_{22}H_{40}N_5Cl$ – гептаэтилфенилбигуанидинийхлорид (II); $C_{16}H_{40}N_4PBr$ – октаэтилтетраамидофосфонийбромид (III); $C_{16}H_{40}N_4PBF_4$ – октаэтилтетраамидофосфонийтетрафторборат (IV); $C_{34}H_{27}PO_2F_6$ – метилтрифенилфосфоний-4-фенолят-4'-фенилолгексафторпропан-2 (V); $C_{31}H_{55}N_4O_2P$ – октаэтилтетраамидофосфоний-4-фенолят-4'-фенилолпропан-2 (VI); $C_{25}H_{22}PCl$ – бензилтрифенилфосфонийхлорид (VII).

Для улучшения диспергируемости и повышения растекаемости резиновой смеси на основе фторкаучука Вайтон GLT использованы диспергаторы, представляющие собой сложные эфиры и амиды алифатических перфторкислот, а также производные перфторциклогександикарбоновой кислоты.

Отработаны рецептуры эластомерных композиций на основе фторкаучуков с различным содержанием ингредиентов.

Изучены физико-механические свойства эластомерных композиций на основе фторкаучуков Вайтон GLT.

Показано, что прессование резинотехнических изделий из композиций на основе фторкаучуков надо проводить в две стадии: первая стадия – при температуре $151 \pm 3^\circ C$ в течение 20–30 мин; вторая стадия – при температуре 200–240°C в течение 24 ч.

Таким образом, использование фторкаучука марки Вайтон позволит получать резинотехнические изделия пригодные к эксплуатации при температуре до 250°C.

Ключевые слова: каучуки специального назначения, фторкаучук, технология, рецептура.

R. M. Dolinskaya, S. A. Gugovich, N. R. Prokopchuk
Belarusian State Technological University

PROPERTIES OF ELASTOMERIC COMPOSITIONS BASED ON SPECIAL PURPOSES

The effect of catalysts, a curing agent, vulcanization activators and acceptors, dispersants on the physico-mechanical properties of fluorinated rubber compositions has been studied. The following compounds were used as Vaiton GLT fluorine rubber catalysts: $C_{22}H_{40}N_5Br$ – heptaethylphenylbiguanidinium bromide (I); $C_{22}H_{40}N_5Cl$ – heptaethylphenylbiguanidinium chloride (II); $C_{16}H_{40}N_4PBr$ – octaethyl tetraamidophosphonium bromide (III); $C_{16}H_{40}N_4PBF_4$ – octaethyl tetraamidophosphonium tetra fluoroborate (IV); $C_{34}H_{27}PO_2F_6$ – methyltriphenylphosphonium-4-phenolate-4'-phenylolhexafluoropropane-2 (V); $C_{31}H_{55}N_4O_2P$ – octaethyltetraamidophosphonium-4-phenolate-4'-phenylolpropane-2 (VI); $C_{25}H_{22}PCl$ – benzyltriphenylphosphonium chloride (VII). To improve the dispersibility and spreadability of the rubber compound based on the Whiteon GLT fluororubber, dispersants are used, which are aliphatic perfluoric acid esters and amides, as well as perfluorocyclohexanedicarboxylic acid derivatives.

Formulations of elastomeric compositions based on fluoroelastomers with various contents of ingredients have been developed.

The physico-mechanical properties of elastomeric compositions based on Whiton GLT fluoroelastomers have been studied.

It is shown that the pressing of rubber products from compositions based on fluorine rubbers must be carried out in two stages: the first stage at a temperature of $151 \pm 3^\circ C$ for 20–30 minutes; the second stage at a temperature of 200–240°C for 24 hours. Thus, the use of fluorine rubber of the Whiton brand will make it possible to obtain rubber products suitable for operation at temperatures up to 250°C.

Key words: special-purpose rubbers, fluororubber, technology, compounding.

Введение. Одним из наиболее эффективных направлений научно-технического прогресса в промышленности резинотехнических изделий

(РТИ) является изыскание и освоение новых видов сырья и материалов для производства РТИ высокого качества.

К целому ряду РТИ, используемых в автомобильной и авиационной промышленности, судостроении, машиностроении и многих других отраслях народного хозяйства, предъявляют повышенные требования по тепло-, маслостойкости при одновременном обеспечении высокого уровня физико-механических свойств.

Из всех применяемых в промышленности эластомеров фторкаучуки являются самыми лучшими по стойкости к высоким температурам и к набуханию в маслах. Большим стимулом для широкого использования фторкаучуков в промышленности является их относительно невысокая, по сравнению с некоторыми другими каучуками специального назначения, стоимость [1, 2].

Благодаря целому комплексу свойств, фторкаучуки могут найти широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. При правильном выборе вулканизирующей группы, наполнителей и других ингредиентов на основе фторкаучуков можно получить разнообразные композиционные материалы на основе эластомеров, удовлетворяющие высоким требованиям автомобильной и других отраслей промышленности.

Таким образом, в тех областях техники, где к полимерным материалам вообще и к эластомерным композициям в частности предъявляются повышенные требования в отношении теплостойкости, стойкости к маслам и агрессивным средам, фторкаучуки выгодно применять даже с экономической точки зрения, так как их высокая стоимость окупается значительным превосходством перед всеми другими эластомерами в сроках работы.

Основная часть. Целью работы являлось исследование возможности создания разнообразных композиционных материалов на основе эластомеров, удовлетворяющих высоким требованиям автомобильной и других отраслей промышленности.

Объектом исследований являлась композиция на основе фторкаучука Вайтон GLT.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- провести исследование свойств различных ингредиентов фтористых резин;
- изучить физико-механические свойства фтористых эластомеров.

Изготовление смесей из фторкаучуков производили на вальцах при скорости вращения переднего вала 28 и заднего – 40 об/мин. Весьма важно при изготовлении смеси тщательное диспергирование вулканизирующего агента во время смешения. Вулканизирующий агент вводили в смесь медленно при относительно холодных вальцах (20–60°C). После образования на вальцах сплошной шкурки каучука в него сразу начина-

ли введение остальных ингредиентов. В первую очередь в каучук вводили акцепторы кислоты, затем наполнители и пластификаторы и в последнюю очередь вулканизирующие агенты. Перед снятием смеси с вальцов ее пропускали через тонкий зазор, чтобы удалить пузырьки воздуха. Для улучшения распределения ингредиентов в каучуке смеси после нескольких часов отдыха вновь подвергали дополнительному рафинированию через плотно прижатые один к другому валки с последующим 5-минутным вальцеванием. Вулканизацию проводили в две стадии: формование в прессе и довулканизация в термостате. Термостатирование осуществляли в термостате с внутренними стенками из нержавеющей стали с максимальной циркуляцией горячего воздуха и хорошей вентиляцией для удаления паров воды и других продуктов вулканизации в течение 24 ч при температуре 240°C.

Физико-механические показатели вулканизатов до и после теплового старения определялись согласно ГОСТ 270–75 и ГОСТ 9.024–74. Исследования стойкости к действию агрессивных сред – по ГОСТ 4.030–74. Исследуемые образцы были подвергнуты тепловому старению в течение 72 ч при температуре 150°C.

В качестве катализаторов фторкаучука Вайтон GLT использованы соединения: $C_{22}H_{40}N_5Br$ – гептаэтилфенилбигуанидинийбромид (I); $C_{22}H_{40}N_5Cl$ – гептаэтилфенилбигуанидинийхлорид (II); $C_{16}H_{40}N_4PBr$ – октаэтилтетраамидофосфонийбромид (III); $C_{16}H_{40}N_4PBF_4$ – октаэтилтетраамидофосфонийтетрафторборат (IV); $C_{34}H_{27}PO_2F_6$ – метилтрифенилфосфоний-4-фенолят-4'-фенилолгексафторпропан-2 (V); $C_{31}H_{55}N_4O_2P$ – октаэтилтетраамидофосфоний-4-фенолят-4'-фенилолпропан-2 (VI); $C_{25}H_{22}PCl$ – бензилтрифенилфосфонийхлорид (VII) [3].

В композицию катализаторы вводили в количестве 0,5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Сопоставление кинетических характеристик показало, что все катализаторы, кроме катализатора V, обеспечивают большую скорость вулканизации (табл. 1).

Известно [2], что катализатор V поглощает пары воды из воздуха и может подвергаться гидролизу с образованием четвертичного фосфониевого основания (ЧФО), которое является основной причиной преждевременной подвулканизации резиновой смеси.

Для улучшения диспергируемости и повышения растекаемости резиновой смеси на основе фторкаучука Вайтон GLT использовали диспергаторы, соединения 1–10 [4], представляющие собой сложные эфиры и амиды алифатических перфторкислот (соединения 1–7), а также производные перфторциклогександикарбоновой кислоты (соединения 8–10):

- 1) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 2, 3, m = 10-14$;
 2) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 1, m = 10-14$;
 3) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_6\text{H}_5$, где $n = 1$;
 4) $\text{C}_3\text{F}_7\text{O}(\text{CF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}(\text{CF}_3)\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 1-5, m = 10-14$;
 5) $(\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{-OCH}_2\text{-})_4\text{C}$ – тетраперфторпеларгонат пентаэритрита;
 6) $\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{-NHC}_6\text{H}_5$ – анилид перфторпеларгоновой кислоты;
 7) $\text{Cl}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{-NHC}_6\text{H}_5$ – анилид 9-хлорперфторпеларгоновой кислоты;
 8) цикло- $\text{C}_6\text{F}_{10}\text{-1,2-(COOCH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_4\text{H}_9)_2$ –

1,2-бис-(2-этилгексильный) эфир перфторциклогександикарбоновой кислоты согласно ТУ 2389-067-00209409-2008;

9) цикло- $\text{C}_6\text{F}_{10}\text{-1,2-(COONHC}_6\text{H}_5)_2$ – 1,2-бис-(анилид)-перфторциклогександикарбоновой кислоты;

10) цикло- $\text{C}_6\text{F}_{10}\text{-1,2-(COOCH}_2\text{CH=CH}_2)_2$ – диаллиловый эфир 1,2-перфторциклогександикарбоновой кислоты.

Кинетические характеристики вулканизации резиновых смесей с использованием 1–10 диспергаторов приведены в табл. 2. Количество вводимого вещества составляло 0,25 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука Вайтон GLT.

Таблица 1

Кинетические характеристики исследованных резиновых смесей

Показатель	Соединение						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$M_{\text{мин}}$, Н·м	1,24	1,25	1,24	1,26	1,24	1,43	1,63
t_{52} , мин	1,34	1,36	1,45	1,51	2,00	2,40	2,18
t'_{50} , мин	2,16	2,25	2,31	2,33	3,01	3,14	3,37
t'_{90} , мин	6,00	5,05	6,12	6,13	6,23	6,01	8,30
$M_{\text{макс}}$, Н·м	13,00	12,89	13,01	13,04	11,89	12,13	12,34
Скорость вулканизации, мин^{-1}	0,602	0,592	0,599	0,617	0,310	0,621	0,472
Твердость по Шор А, усл.ед.	80	82	78	80	78	75	76
Условная прочность при растяжении, МПа	14,3	13,2	14,2	14,1	14,0	14,2	14,5
Относительное удлинение при разрыве, %	145	140	140	144	145	147	145
Относительная остаточная деформация при сжатии на 25% (150°C , 72 ч), %	38	31	36	37	33	34	35

Примечание. t_{52} , мин, – время начала вулканизации, $M_{\text{мин}}$, Н·м, – минимальный крутящий момент; $M_{\text{макс}}$, Н·м, – максимальный крутящий момент; t'_{90} , мин, – время оптимума вулканизации; t'_{50} , мин, – время 50% вулканизации.

Таблица 2

Влияние диспергаторов на кинетические характеристики резиновых смесей

Показатель	Исх. р/с	Образец									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вязкость по Муни, $\text{ML}(1+4)$ 120°C , ед.	107	101	101	100	102	92	95	94	102	103	102
t_{52} , мин	1,24	1,16	1,28	1,14	1,16	1,07	1,25	1,14	1,18	1,29	1,27
t'_{50} , мин	3,15	2,37	2,47	2,27	2,34	2,17	2,52	2,27	2,33	2,48	2,47
t'_{90} , мин	8,35	6,25	5,20	6,05	6,16	4,00	5,52	6,05	6,12	5,31	5,54
$M_{\text{мин}}$, Н·м	316	3,08	2,94	3,07	3,11	2,66	3,15	3,07	3,24	3,14	3,15
$M_{\text{макс}}$, Н·м	14,2	14,4	14,7	14,7	14,2	14,4	14,1	14,7	14,5	14,8	14,7

Установлено снижение вязкости и повышение растекаемости резиновых смесей в сравнении с исходной, и эти показатели выше для композиций, содержащих диспергаторы 5–7. Кроме того, наблюдается также увеличение скорости и уменьшение оптимального времени вулканизации резиновых смесей.

С целью определения влияния состава вулканизирующей группы на стойкость к тепловому старению были определены физико-механические показатели исследуемых композиций до и после воздействия повышенных температур.

Результаты исследований представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Составы резиновых смесей

Наименование показателей	Образцы			
	1	2	3	4
	мас. ч. на 100 мас. ч. каучука			
Каучук Вайтон GLT	100,0	100,0	100,0	100,0
Гексаметилендиаминкарбонат	4,0	2,0	6,0	10,0
Стеариновая кислота	1,0	1,5	2,0	1,0
Оксид магния	5,0	5,0	4,0	3,0
Гидроксид кальция	6,0	3,0	5,0	6,0
Углерод технический П 701	25,0	30,0	10,0	15,0

Таблица 4

Физико-механические свойства резиновых смесей

Наименование показателей	Образцы			
	1	2	3	4
	мас. ч. на 100 мас. ч. каучука			
Вязкость по Муни, усл. ед. Муни	100	83	92	75
Условная прочность при растяжении, МПа	14,5	12,5	13,7	11,5
Относительное удлинение при разрыве, %	120	140	130	150
Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	2	4	4	4
Твердость, ед. Шор А	82	78	80	75
Относительная остаточная деформация при сжатии на воздухе на 20% в течение 24 ч, % при температуре:				
100°C	31,0	38,3	35,1	32,5
150°C	50,0	54,0	53,0	55,0
Изменение показателей после старения на воздухе при температуре 150°C в течение 72 ч, %:				
условной прочности	-5	-7	-7	-8
относительного удлинения	-8	-9	-10	-11
Изменение после воздействия смеси изооктана и толуола (соотношение 7 : 3) при температуре 23°C в течение 24 ч:				
массы	0,9	1,2	1,2	1,0
объема	2,0	2,8	2,3	2,1
Изменение после воздействия СЖР-1: при температуре 23°C в течение 72 ч:				
объема	0	0	0	0
при температуре 150°C в течение 72 ч:				
массы	0,1	0,6	0,3	0,1
объема	0,6	1,2	0,3	0,5
Изменение после воздействия СЖР-3 при температуре 150°C в течение 72 ч:				
массы	2,4	3,0	2,9	2,6
объема	4,0	5,4	4,9	4,1

Из представленных данных видно, что с увеличением содержания диамина в эластомерной композиции уменьшается вязкость, условная прочность при растяжении, твердость.

При сравнении комплекса показателей для образцов 3 и 4 было установлено, что увеличение дозировки гексаметилендиамина в композиции приводит к значительному снижению вязкости, условной прочности при растяжении, твердости, но при этом все показатели после старения улучшаются. Вероятно, это связано с тем, что при вулканизации блокированным диамином образуются шивки, не содержащие между полимерными цепями амино- и иминогруппы, склонные при повышенных температурах к гидролизу. Поэтому такие вулканизаты более устойчивы к термоокислительному старению.

При сравнении комплекса показателей для образцов 1 и 2 было установлено, что увеличение дозировки гексаметилендиамина и одновременно значительном (в два раза) увеличении содержания в композиции гидроксида кальция (акцептора галогеноводородов) приводит к значительному увеличению вязкости, условной прочности при растяжении, твердости, но при этом все показатели после старения улучшаются.

Вероятно, гидроксид кальция, связывая фтороводород, оказывает значительное влияние на формирование структуры вулканизационной сетки, причем важную роль играет разрушение глобулярной структуры каучука. Известно [1], что для фторкаучуков характерно сильное межмолекулярное взаимодействие и это влияет на физико-механические показатели, которые можно варьировать различным содержанием компонентов вулканизирующей группы.

Заключение. Изучено влияние катализаторов, вулканизирующего агента, активаторов и акцепторов вулканизации, диспергаторов на физико-механические свойства композиций на основе фторкаучуков.

В качестве катализаторов фторкаучука Вайтон GLT использованы соединения: $C_{22}H_{40}N_5Br$ – гептаэтилфенилбигуанидинийбромид (I); $C_{22}H_{40}N_5Cl$ – гептаэтилфенилбигуанидинийхлорид (II); $C_{16}H_{40}N_4PBr$ – октаэтилтетраамидофосфонийбромид (III); $C_{16}H_{40}N_4PF_4$ – октаэтилтетраамидофосфонийтетрафторборат (IV); $C_{34}H_{27}PO_2F_6$ – метилтрифенилфосфоний-4-фенолят-4'-фенилолгексафторпропан-2 (V); $C_{31}H_{55}N_4O_2P$ – октаэтилтетраамидофосфоний-4-фенолят-4'-фенилолпропан-2 (VI); $C_{25}H_{22}PCl$ – бензилтрифенилфосфонийхлорид (VII).

Для улучшения диспергируемости и повышения растекаемости резиновой смеси на основе фторкаучука Вайтон GLT использованы диспергаторы, представляющие собой сложные

эфир и амиды алифатических перфторкислот, а также производные перфторциклогександикарбоновой кислоты:

- 1) $CF_3O(CF_2CF_2O)_nCF_2CONHC_mH_{2m+1}$, где $n = 2, 3, m = 10-14$;
- 2) $CF_3O(CF_2CF_2O)_nCF_2CONHC_mH_{2m+1}$, где $n = 1, m = 10-14$;
- 3) $CF_3O(CF_2CF_2O)_nCF_2CONHC_6H_5$, где $n = 1$;
- 4) $C_3F_7O(CF(CF_3)CF_2O)_nCF(CF_3)CONHC_mH_{2m+1}$, где $n = 1-5, m = 10-14$;
- 5) $(F(CF_2)_8-C(O)-OCH_2)_4C$ – тетраперфторпеларгонат пентаэритрита;
- 6) $F(CF_2)_8C(O)-NHC_6H_5$ – аниlid перфторпеларгоновой кислоты;
- 7) $Cl(CF_2)_8C(O)-NHC_6H_5$ – аниlid 9-хлорперфторпеларгоновой кислоты;
- 8) цикло- $C_6F_{10-1,2}-(COOCH_2CH(C_2H_5)C_4H_9)_2$ – 1,2-бис-(2-этилгексильный) эфир перфторциклогександикарбоновой кислоты согласно ТУ 2389-067-00209409-2008;
- 9) цикло- $C_6F_{10-1,2}-(COONHC_6H_5)_2$ – 1,2-бис-(2-этилгексильный) эфир перфторциклогександикарбоновой кислоты;
- 10) цикло- $C_6F_{10-1,2}-(COOCH_2CH=CH_2)_2$ – диаллиловый эфир 1,2-перфторциклогександикарбоновой кислоты.

Отработаны рецептуры эластомерных композиций на основе фторкаучуков с различным содержанием ингредиентов.

Изучены физико-механические свойства эластомерных композиций на основе фторкаучуков Вайтон GLT.

Показано, что прессование резинотехнических изделий из композиций на основе фторкаучуков надо проводить в две стадии:

- первая стадия при температуре $151 \pm 3^\circ C$ в течение 20–30 мин;
- вторая стадия при температуре 200–240°C в течение 24 ч.

Таким образом, в тех областях техники, где к полимерным композициям вообще и к эластомерным композициям в частности предъявляются повышенные требования в отношении теплостойкости, стойкости к маслам и агрессивным средам, фторкаучуки выгодно применять даже с экономической точки зрения, так как их высокая стоимость окупается значительным превосходством перед всеми другими эластомерами в сроках работы. Фторкаучуки по технологическим свойствам отличаются от других синтетических каучуков, и поэтому для их переработки в изделия требуется несколько иной подход. Это обусловлено особенностями химического строения и структуры фторкаучуков. Использование фторкаучука марки Вайтон позволит получать резинотехнические изделия, пригодные для эксплуатации при температуре до 250°C.

Список литературы

1. Струк В. А. Структура и свойства фторсодержащих нанокompозитов на основе вулканизированных каучуков // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Серыя. фіз-тэхн. навук. 2011. № 1. С. 25–31.
2. Федюкин Д. Л., Махлис Ф. А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.
3. Сравнительный анализ нуклеофильного и радикального замещения в ароматических системах типа дибензо-*p*-диоксина / А. Д. Кунцевич [и др.] // ДАН. 1993. № 3. С. 320–322.
4. Кочанов А. С., Пичхидзе С. Я., Подсевалов П. В. Новые диспергаторы для резиновой смеси на основе СКФ-26 // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: материалы XI Юбилейной науч.-практ. конф. М.: НИИШП, 2005. С. 99–100.

References

1. Struck V. A. Structure and properties of fluorine-containing nanocomposites based on vulcanized rubbers. *Vesti Natsiyanal'nay akademii navuk Belarusi* [Vesti National Acad. Navuk Belarusi], series fiz-tekhn. sci., 2011, no. 1, pp. 25–31 (In Russian).
2. Fedyukin D. L., Makhlis F. A. *Tekhnicheskiye i tekhnologicheskiye svoystva rezin* [Technical and technological properties of rubber]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p. (In Russian).
3. Kuntsevich A. D., Golovkov V. F., Pichkhidze S. Ya., Shuisky G. M. Comparative analysis of nucleophilic and radical substitution in aromatic systems such as dibenzo-*p*-dioxin. *DAN* [DAN], 1993, no. 3, pp. 320–322 (In Russian).
4. Kochanov A. S., Pichkhidze S. Ya., Posevalov P. V. New dispersants for rubber compound based on SKF-26. *Rezinovaya promyshlennost'. Syr'ye. Materal'y. Tekhnologii: materialy XI Uybileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Rubber Industry. Raw materials. Materials Technologies: materials of the XI anniversary scientific and practical conf.]. Moscow, 2005, pp. 99–100 (In Russian).

Информация об авторах

Долинская Раиса Моисеевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raisa_dolinskaya@mail.ru

Гугович Светлана Александровна – младший научный сотрудник кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svet_gug59@mail.ru

Прокопчук Николай Романович – член корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pcm@belstu.by

Information about the authors

Dolinskaya Raisa Moiseevna – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raisa_dolinskaya@mail.ru

Gugovich Svetlana Aleksandrovna – Junior Researcher, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svet_gug59@mail.ru

Prokopchuk Nikolay Romanovich – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pcm@belstu.by

Поступила 06.04.2020