

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 678.4.046.7

И. В. МАРКОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Химия и инженерная экология», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, тел. +38 (099) 425 35 77, эл. почта markova60.i.v@gmail.com, ORCID 0000-0001-7867-5380

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЫ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Цель. В данной работе предполагается исследовать влияние каучуков общего и специального назначения в качестве полимерной матрицы на жесткостные, прочностные свойства резиноволокнистых композитов и их сопротивление тепловому старению. **Методика.** Резиноволокнистые композиты изготавливали на основе каучуков общего (изопреновый, бутадиен-стирольный, дивиниловый) и специального (бутадиен-нитрильный) назначения. В качестве армирующих волокон использовали полиамидное, хлопковое и стекло-волокна. Для обеспечения высокой прочности связи армирующих волокон с матрицей в резины вводили химический модификатор м-фенилен-бис-малеинимид. Резиновые смеси изготавливали в резиносмесителе. Волокно в резиновую матрицу вводили на вальцах при зазоре между валками 1,0–1,5 мм. В конце смешения полученную смесь 3 раза пропускали через зазор вальцов 0,3–0,5 мм, не меняя направления вальцевания. Вулканизацию образцов проводили в гидравлическом прессе с паровым обогревом при температуре 143 °C и оптимальном времени вулканизации. Для определения модуля жесткости резиноволокнистых композитов при малых деформациях (5, 20 %) растяжения снимали нагрузочную кривую (зависимость нагрузки от деформации) для образца в виде двухсторонней лопатки. По полученной кривой определяли напряжение в образце, соответствующее деформации. Тепловое старение вулканизатов осуществляли в воздушном термостате при 120 °C в течение 96 часов. **Результаты.** Показано, что армирование короткими волокнами резин на основе каучуков не только общего, но и специального назначения позволяет значительно повысить их жесткостные свойства и сопротивление тепловому старению при сохранении необходимого уровня прочностных характеристик. Максимальные жесткостные характеристики резиноволокнистых композитов достигаются при применении комбинации армирующих волокон. **Научная новизна.** Впервые была показана возможность создания резиноволокнистых композитов на основе бутадиен-нитрильной эластомерной матрицы с высокими показателями жесткостных, прочностных свойств, а также сопротивления тепловому старению. **Практическая значимость.** Полученные результаты открывают перспективы разработки материалов для шевронных уплотнителей и других конструкционных элементов, где необходимы высокие показатели не только жесткости и теплостойкости, но и маслостойкости.

Ключевые слова: резиноволокнистые композиты; полимерная матрица; бутадиен-нитрильный каучук; жесткостные свойства; сопротивление тепловому старению

Введение

Создание композитных материалов является наиболее перспективным направлением современного материаловедения [10, 11]. Так, например, армирование резин короткими волокнами позволило заметно увеличить жесткость материала [8, 9], его теплостойкость,

а также снизить теплообразование, оптимизируя гистерезисные свойства [4]. Однако эти исследования предусматривают оптимизацию шинных резин, поэтому в качестве полимерной матрицы использованы каучуки общего назначения (НК, СКИ и его комбинация с БСК).

Вместе с тем каучуки специального назначения, обладающие рядом уникальных свойств,

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

также представляют интерес для создания резиноволокнистых композитов, например, как материала для шевронных уплотнений. Шевронные уплотнения [6] широко используют в машиностроении, химической, фармацевтической и нефтеперерабатывающей промышленности. Их устанавливают в плунжерных насосах, измерительных приборах, гидравлических цилиндрах и вращающихся механизмах. Режим работы таких деталей определяет жесткие требования к материалу для их изготовления. Он должен обладать, наряду с достаточной прочностью, высокой жесткостью и сопротивлением тепловому старению. Известна работа, описывающая резиноволокнистые композиты на основе бутадиен-стирольных каучуков, однако свойства представленных там композитов не отвечают необходимым требованиям [5]. Кроме того, если уплотнитель контактирует с маслами, немаловажное значение приобретает маслостойкость материала. Этим качеством в гораздо большей степени, чем резины на основе каучуков общего назначения, обладают резины на основе нитрильных каучуков. Однако работ, посвященных исследованию нитрильных резин, армированных волокнами, крайне мало. Предпринималась попытка наполнять эластомеры на основе нитрильных каучуков очень малыми количествами углеродных волокон [3, 7], но заметного эффекта это не дало.

Цель

Основной целью данной работы является исследование свойств резиноволокнистых материалов на различной полимерной основе.

Методика

Были исследованы резины на основе каучуков общего и специального назначения, содержащие различные типы волокнистых наполнителей: полиамидное и хлопковое волокно короткой длины (4–6 мм), а также стекловолокно, аппретированное γ -аминопропилтриэтоксисиланом. Начальная длина стекловолокна 90–110 мм, однако в процессе изготовления резиноволокнистых композитов длина стекловолокна уменьшается до 1–3 мм. Свойства композитов в значительной степени определяют уровнем адгезии коротких волокон к резине [12]. В ка-

честве модификатора, обеспечивающего высокую прочность связи армирующих волокон с эластомерной матрицей, в композиты вводили м-фенилен-бис-малеинимид [1]. Резины содержали также серу, ускорители вулканизации и наполнители. Для повышения эффективности м-фенилен-бис-малеинимида в резиновую матрицу вводили стеарат натрия [2].

Изготовление резиновых смесей производили в резиносмесителе, а армирующие волокна вводили на вальцах. Необходимо было обеспечить направленное, а не хаотичное расположение волокон в композите. Это было достигнуто режимом вальцевания. Волокна перемешивали с резиновой матрицей при зазоре вальцев 1,0–1,5 мм. В конце перемешивания полученный композит 3 раза пропускали через зазор вальцев 0,3–0,5 мм, не меняя направления вальцевания.

Полученные образцы вулканизовали в гидравлическом прессе с паровым обогревом. Температура вулканизации 143 °С.

Жесткостные свойства резиноволокнистых композитов определяли по модулю жесткости при 5 и 20 % деформации растяжения. Для этого снимали кривую зависимости нагрузки от деформации для образца в виде двусторонней лопатки, и по полученной кривой определяли напряжение в образце при данной деформации.

Для теплового старения образцов использовали воздушный термостат.

Результаты

Резиноволокнистые композиты, созданные на основе сочетания полимеров СКИ–3 + БСК + СКД (60 + 30 + 10), БСК (100) и БСК + СКД (70 + 30), обладали высокими прочностными и жесткостными свойствами. Введение волокон позволило повысить прочность материала на 5–60 % по сравнению с полимерной матрицей. Жесткость же материала выросла гораздо существеннее. Свойства матриц и композитов приведены в табл. 1.

Сопоставительная оценка свойств резиноволокнистых композитов на основе маслостойких каучуков марок СКН–18 и СКН–40 показала преимущество каучука СКН–40.

Было исследовано также влияние соагентов различной природы на свойства композитов.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Установлено, что оптимальный комплекс прочностных и жесткостных свойств резиноволокнистых композитов на основе СКН–40 достигается при введении перекиси дикумила. Кроме того, композиты на основе СКН–40 имеют су-

щественное преимущество перед композитами на основе каучуков общего назначения по сохранению свойств в условиях длительного старения при высокой температуре (120° x 96 час). Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 1

Влияние типа каучука на свойства резиноволокнистых композитов

Table 1

Influence of the rubber type on the properties of rubber-fiber composites

Полимерная основа:			
СКИ–3	60	–	–
СКМС–30 АРКМ–15	30	100	70
СКД	10	–	30
Свойства матрицы:			
Прочность связи по Н-методу с кордом 23 к сур, кН/м	13,0	17,7	18,8
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	11,8	7,1	7,0
Условная прочность при растяжении, МПа	20,4	16,4	15,0
Относительное удлинение при разрыве, %	490	610	560
Сопротивление раздиру, кН/м	67	69	–
Свойства композитов (10 об. % ПА волокна):			
Модуль жесткости при 5 % удлинения, МПа	79,0	90,6	108,5
Модуль жесткости при 20 % удлинения, МПа	61,3	69,2	90,4
Условная прочность при растяжении, МПа	21,5	24,2	24,4
Относительное удлинение при разрыве, %	43	44	32

Таблица 2

Свойства резиноволокнистых композитов на основе СКН–40

Table 2

Properties of NBR–40 rubber-fiber composites

Свойства матрицы:	
Прочность связи по Н-методу с кордом 23 к сур, кН/м	14,8
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	9,8
Условная прочность при растяжении, МПа	20,1
Относительное удлинение при разрыве, %	580
Свойства композитов (10 об. % ПА волокна)	
Модуль жесткости при 5 % удлинении, МПа при н. у. после старения 120о x 96 час	94,0
Модуль жесткости при 20 % удлинении, МПа при н.у. после старения 120о x 96 час	127,0
Условная прочность при растяжении, МПа при н.у. после старения 120о x 96 час	747
	110,4
	237

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Продовження табл. 1

Continuation of Table 1

Относительное удлинение при разрыве, %	296
после старения 120о x 96 час	43
Накопление относительной остаточной деформации при 20 % сжатия	23
после старения 150о x 24 час	13

Представляло интерес исследовать возможность дальнейшего повышения жесткостных характеристик материала. Увеличение жесткости было достигнуто двумя путями:

– повышением концентрации технического углерода;

– введением волокон с высоким модулем жесткости (хлопкового и стекловолокна) дополнительно к ПА волокну.

Резины изготавливали на основе 100 м. ч. БСК и 100 м. ч. СКН – 40. Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4

Таблица 3

Влияние типа наполнителя на свойства резиноволокнистых композитов на основе БСК

Table 3

The influence of the type of fillers on the properties of styrene butadiene rubber-fiber composites

Наполнители				
ПЗ24, м. ч.	–	50	60	70
ПЗ34, м. ч.	50	–	–	–
ПА волокно, об %	10	10	10	10
Хлопковое волокно, об %	–	–	20	–
Свойства матрицы:				
Прочность связи по Н-методу с кордом 23 к сур, кН/м	17,7	–	13,1	16,1
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	7,1	10,4	13,3	13,6
Условная прочность при растяжении, МПа	16,4	16,3	18,0	15,8
Относительное удлинение при разрыве, %	610	490	390	340
Сопротивление раздиру, кН/м	69	65	57	62
Свойства композитов:				
Модуль жесткости при 5 % удлинения, МПа	90,6	87,9	130,9	92,6
Модуль жесткости при 20 % удлинения, МПа	69,2	77,9	73,9	78,8
Условная прочность при растяжении, МПа	24,2	22,2	18,6	20,3
Относительное удлинение при разрыве, %	44	31	22	34

Как следует из приведенных данных, увеличение концентрации технического углерода для резиноволокнистых композитов на основе СКН – 40 с 50 до 70 м. ч. повышает модуль жесткости материала примерно на 15 %. Наиболее высокие жесткостные характеристики композитов

(как на основе СКН–40, так и на основе БСК) достигаются при применении комбинации волокон полиамидного и хлопкового. В этом случае модуль жесткости удалось повысить на 30–40 %, при этом прочностные свойства материала остаются на достаточно высоком уровне.

Таблица 4

**Влияние типа наполнителей на свойства резиноволокнистых
композитов на основе СКН–40**

Table 4

**The influence of the type of fillers on the properties
of NBR–40 rubber-fiber composites**

Наполнители:				
ПЗ24, м.ч.	50	70	50	50
ПА волокно, об %	10	10	10	10
Хлопковое волокно, об %	–	–	20	–
Стекловолокно, об %	–	–	–	10
Свойства матрицы:				
Прочность связи по Н-методу с кордом 23 к сур, кН/м	14,8	11,9	12,2	11,8
Условное напряжение при удлинении 300 %, МПа	9,7	–	11,8	11,0
Условная прочность при растяжении, МПа	20,1	19,0	20,5	19,0
Относительное удлинение при разрыве, %	580	280	480	490
Сопротивление раздиру, кН/м	–	59	61	58
Свойства композитов:				
Модуль жесткости при 5 % удлинения, МПа	94,0	119,3	124,2	104,0
Модуль жесткости при 20 % удлинения, МПа	74,7	106,2	83,0	79,4
Условная прочность при растяжении, МПа	23,7	27,9	19,4	19,5
Относительное удлинение при разрыве, %	43	30	30	34

**Научная новизна и практическая
значимость**

Впервые установлена возможность создания резиноволокнистых композитов на основе маслостойкого бутадиен-нитрильного каучука марки СКН–40, обладающих оптимальным комплексом жесткостных, прочностных свойств и сопротивлением тепловому старению. Это дает возможность создавать композиционные материалы для маслостойких шевронных уплотнений. Как правило, шевронные уплотнения армируют обрезиненными техническими тканями для обеспечения необходимой жесткости. Резиноволокнистые композиты

позволяют отказаться от тканевых прослоек, заметно снизив, тем самым, трудоемкость изготовления шевронных уплотнений.

Выводы

Показано, что введение волокон различной природы в полимерную матрицу на основе каучуков не только общего, но и специального назначения позволяет значительно повысить жесткостные свойства материала и его сопротивление тепловому старению. Существенно важным является тот факт, что при этом удается сохранить необходимый уровень прочностных характеристик материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных) : в 2 ч. : монография / Б. С. Гришин. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – Ч. 2. – 485 с.
2. Дзюра Е.А. Увеличение эффективности бис-малеинимидов, как модификаторов адгезии резин к полиамидным монофиламентным и комплексным нитям // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технология : Тез. докл. XX Межд. научн.-практ. конф. – Москва, 2015. – С. 100–102.
3. Красникова, И. В. Создание углерод-углеродных и углерод-минеральных гибридных систем методом каталитического наномодифицирования : дис ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Красникова Ирина Вадимовна ; ин-т катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отд. РАН. – Новосибирск, 2017. – 186 с.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

4. Маркова, И. В. Гистерезисные свойства и теплообразование резиноволокнистых композитов / И. В. Маркова, Е. А. Дзюра // Вопросы химии и хим. технологии. – 2011. – № 3. – С. 59–62.
5. Никулин, С. С. Композиционные материалы на основе наполненных бутадиен-стирольных каучуков / С. С. Никулин, И. Н. Пугачева, О. Н. Черных. – Москва : Академия Естествознания, 2008. – 160 с.
6. Справочник химика 21 [Электронный ресурс] : Химия и химическая технология. – Режим доступа: chem21.info/info/820459 – Загл. с экрана. – Проверено : 02.01.2019.
7. Шадринов, Н. В. Модификация резины В-14 углеродными волокнами [Электронный ресурс] / Н. В. Шадринов // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 115 (01). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/modifikatsiya-reziny-v-14-uglerodnymi-voloknami> – Загл. с экрана. – Проверено : 02.01.2019.
8. Karaağaç, B. Properties of NR and NR/ENR Based Rubber Compounds Reinforced with Chopped and Sized Carbon Fiber / B. Karaağaç, B. N. Yeşil // Anadolu University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering. – 2016. – Vol. 17. – Iss. 5. – P. 926–935. doi: 10.18038/auubtda.279860
9. Kashani, M. R. Aramid-short-fiber reinforced rubber as a tire tread composite / Mehdi Razzaghi Kashani // Journal of Applied Polymer Science. – 2009. – Vol. 113. – Iss. 2. – P. 1355–1363. doi: 10.1002/app.30026
10. Materials for Wind Turbine Blades: An Overview / L. Mishnaevsky, K. Branner, H. Petersen, J. Beauson, M. McGugan, B. Sørensen // Materials. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 11. – P. 1285. doi: 10.3390/ma10111285
11. Manufacturing Technology of Composite Materials – Principles of Modification of Polymer Composite Materials Technology Based on Polytetrafluoroethylene / A. Panda, K. Dyadyura, J. Valíček, M. Harničárová, J. Zajac, V. Modrák, I. Pandová, P. Vrábel, E. Nováková-Marcinčinová, Z. Pavelek // Materials. – 2017. – Vol. 10. – Iss. 4. – P. 377–397. doi: 10.3390/ma10040377
12. Sobhy, M. S. The Influence of Fiber Length and Concentration on the Physical Properties of Wheat Husk Fibers Rubber Composites / Maged S. Sobhy, M. T. Tammam // International Journal of Polymer Science. – 2010. – Vol. 2010. – P. 1–8. doi: 10.1155/2010/528173

І. В. МАРКОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Хімія та інженерна екологія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 425 35 77, ел. пошта markova60.i.v@gmail.com, ORCID 0000-0001-7867-5380

ВПЛИВ ПОЛІМЕРНОЇ ОСНОВИ НА ВЛАСТИВОСТІ ГУМОВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИТІВ

Мета. У цій роботі передбачено дослідити вплив каучуків загального та спеціального призначення як полімерної матриці на жорсткісні властивості, міцність гумоволокнистих композитів та їх опір тепловому старінню. **Методика.** Гумоволокнисті композити виготовляли на основі каучуків загального (ізопреновий, бутадиєн-стирольний, дивініловий) і спеціального (бутадиєн-нітрильний) призначення. Як армувальні волокна використовували поліамідне, бавовняне та скло - волокна. Для забезпечення високої міцності зв'язку армувальних волокон із матрицею в гуми вводили хімічний модифікатор м-фенілен-біс-малеїнімід. Гумові суміші виготовляли в гумозмішувачі. Волокно в гумову матрицю вводили на вальцях за зазору між валками 1,0–1,5 мм. Наприкінці змішування отриману суміш 3 рази пропускали крізь зазор вальців 0,3–0,5 мм, не змінюючи напрямку вальцювання. Вулканізацію зразків проводили в гідравлічному пресі з паровим обігрівом за температури 143 °С та оптимального часу вулканізації. Для визначення модуля жорсткості гумоволокнистих композитів за малих деформацій (5, 20 %) розтягування знімали навантажувальну криву (залежність навантаження від деформації) для зразка у вигляді двосторонньої лопатки. За отриманою кривою визначали напругу у зразку, що відповідає деформації. Теплове старіння вулканікатів здійснювали в повітряному термостаті за 120 °С протягом 96 годин. **Результати.** Показано, що армування короткими волокнами гум на основі каучуків не тільки загального, але й спеціального призначення дозволяє значно підвищити їх жорсткісні властивості й опір тепловому старінню зі збереженням необхідного рівня міцності. Максимальні жорсткісні характеристики гумоволокнистих композитів досягаються в разі застосування комбінації армувальних волокон. **Наукова новизна.** Уперше була показана можливість створення гумоволокнистих композитів на основі бутадиєн-нітрильної еластомерної матриці з високими показниками жорсткості, міцності, а також опору тепловому старінню. **Практична значимість.** Отримані результати відкривають перспективи

Creative Commons Attribution 4.0 International

doi: 10.15802/stp2018/154441

© І. В. Маркова, 2018

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

розробки матеріалів для шевронних ущільнювачів та інших конструкційних елементів, де необхідні високі показники не тільки жорсткості й теплостійкості, але й маслостійкості.

Ключові слова: гумоволокнисті композити; полімерна матриця; бутадиєн-нітрильний каучук; жорсткісні властивості; опір тепловому старінню

I. V. MARKOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Chemistry and Engineering Ecology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St, 2, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (099) 425 35 77, e-mail markova60.i.v@gmail.com, ORCID 0000-0001-7867-5380

INFLUENCE OF THE POLYMERIC BASIS ON THE PROPERTIES OF RUBBER-FIBER COMPOSITES

Purpose. This study investigates the influence of common and special rubbers as a polymer matrix on the stiffness, strength properties of rubber-fiber composites and their resistance to heat aging. **Methodology.** Rubber-fibre composites were made on the basis of general (isoprene, styrene-butadiene, divinyl) and special (nitrile-butadiene) rubbers. Polyamide, cotton and fiberglass were used as reinforcing fibers. To ensure high bond strength of the reinforcing fibers with the matrix, the chemical modifier m-phenylene-bis-maleimide was introduced into the rubber. Rubber mixtures were made in a rubber mixer. The fibre in the rubber matrix was introduced on the rollers with a gap between the rolls of $1.0 \div 1.5$ mm. At the end of mixing, the mixture was passed three times through the gap of rollers $0.3 \div 0.5$ mm without changing the direction of rolling. Vulcanization of the samples was carried out in a hydraulic press with steam heating at a temperature 143°C and the optimum time of vulcanization. To determine the stiffness modulus of rubber-fiber composites with small deformations (5%, 20%) of tension, the load curve was received (strain deformation dependency) for the sample in the form of a double-sided blade. According to the obtained curve, the tension in the sample corresponding to the strain was determined. Thermal aging of the vulcanizates was carried out in an air thermostat at 120°C for 96 hours. **Findings.** The article shows that the reinforcement of vulcanized rubbers based not only on common rubbers, but also on the rubbers of special purposes by short fibres allows significantly increasing their stiffness properties and resistance to heat aging at maintaining the required level of strength characteristics. The maximum stiffness characteristics of rubber-fiber composites were achieved by using a combination of reinforcing fibres. **Originality.** For the first time, the possibility of creating rubber-fibre composites based on a nitrile-butadiene elastomer matrix with high rates of stiffness, strength properties, as well as resistance to heat aging was shown. **Practical value.** The obtained results open the prospects for the development of materials for chevron seals and other constructive elements where high rates of not only stiffness and heat resistance, but also oil resistance were necessary.

Key words: rubber-fibre composites; polymer matrix; nitrile-butadiene rubber; stiffness properties; heat aging resistance

REFERENCES

1. Grishin, B. S. (2010). *Materialy rezinovoy promyshlennosti (informatsionno-analiticheskaya baza dannykh): monografiya*. (Vol. 1-2). Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. (in Russian)
2. Dzyura, Y. A. (2015). Uvelichenie effektivnosti bis-maleinimidov, kak modifikatorov adgezii rezin k poli-amidnym monofilamentnym i kompleksnym nityam. *Rezinovaya promyshlennost: syre, materialy, tekhnologiya : Tezisy dokladov KhKh Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow. (in Russian)
3. Krasnikova, I. V. (2017). *Sozдание uglerod-uglerodnykh i uglerod-mineralnykh gibridnykh sistem metodom kataliticheskogo nanomodifitsirovaniya*. (Dysertatsiya kandydata khimicheskikh nauk). Institut kataliza im. G. K. Boreskova Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. Novosibirsk. (in Russian)
4. Markova, I. V., & Dzyura, Y. A. (2011). Gisterezisnye svoystva i teploobrazovanie rezinovoloknistykh kompozitov. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 3, 59-62. (in Russian)
5. Nikulin, S. S., Pugacheva, I. N., & Chernykh, O. N. (2008). *Kompozitsionnye materialy na osnove napolnen-nykh butadien-stirolnykh kauchukov*. Moscow: Akademiya Yestestvoznaniya. (in Russian)

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

6. Spravochnik khimika 21. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. Retrieved from chem21.info/info/820459 (in Russian)
7. Shadrinov, N. V. (2016). Modifikatsiya reziny V-14 uglerodnymi voloknami. *Nauchnyy zhurnal KubGAU, 115(01)*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/v/modifikatsiya-reziny-v-14-uglerodnymi-voloknami>. (in Russian)
8. Karaağaç, B., & Yeşil, B. N. (2016). Properties of NR and NR/ENR Based Rubber Compounds Reinforced with Chopped and Sized Carbon Fiber. *Anadolu University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering, 17(5)*, 926-935. doi: 10.18038/aubtda.279860
9. Kashani, M. R. (2009). Aramid-short-fiber reinforced rubber as a tire tread composite. *Journal of Applied Polymer Science, 113(2)*, 1355-1363. doi: 10.1002/app.30026 (in English)
10. Mishnaevsky, L., Branner, K., Petersen, H., Beauson, J., McGugan, M., & Sørensen, B. (2017). Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. *Materials, 10(11)*, 1285. doi: 10.3390/ma10111285 (in English)
11. Panda, A., Dyadyura, K., Valíček, J., Harničárová, M., Zajac, J., Modrák, V., ... Pavelek, Z. (2017). Manufacturing Technology of Composite Materials – Principles of Modification of Polymer Composite Materials Technology Based on Polytetrafluoroethylene. *Materials, 10(4)*, 377-397. doi: 10.3390/ma10040377 (in English)
12. Sobhy, M. S., & Tammam, M. T. (2010). The Influence of Fiber Length and Concentration on the Physical Properties of Wheat Husk Fibers Rubber Composites. *International Journal of Polymer Science, 2010*, 1-8. doi: 10.1155/2010/528173 (in English)

Поступила в редколлегию: 02.08.2018

Принята к печати: 30.11.2018