

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 678:620.173.2;539.24

А. И. БУРЯ, С. В. КАЛИНИЧЕНКО, А. - М. В. ТОМИНА, Г. А. БАГЛЮК

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФИТОПЛАСТОВ

Исследовано влияние содержания термически расширенного и серебристого графита на физико-механические характеристики графитопластов на основе фторопласта Ф4. Анализ микроструктуры композитов подтвердил рациональность выбора метода смешения и формования компонентов в изделия, что коррелирует с прочностными свойствами материалов. Испытания показали, что разработанные композиты превышают исходный полимер по модулю упругости в 1,9 р., коэффициенту Пуассона 1,8 р., что позволяет их использовать для подвижных соединений машин и механизмов, а также деталей ответственного назначения.

**Ключевые слова:** полимер, наполнитель, фторопласт Ф4, термически расширенный, серебристый, графит, графитопласты, физико-механические свойства, модуль упругости, коэффициент Пуассона

Досліджено вплив вмісту термічно розширеного і сріблястого графітів на фізико-механічні характеристики графітопластів на основі фторопласта Ф4. Аналіз мікроструктури композитів підтвердив раціональність вибору методу змішування і формування компонентів в вироби, що корелює з властивостями міцності матеріалів. Випробування показали, що розроблені композити перевищують вихідний полімер по модулю пружності в 1,9, коефіцієнту Пуассона 1,8 рази, що дозволяє їх використовувати для рухливих з'єднань машин і механізмів, а також деталей відповідального призначення.

**Ключові слова:** полімер, наповнювач, фторопласт Ф4, термічно розширений, сріблястий, графіт, графітопласти, фізико-механічні властивості, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона

The article considers composite materials based on PTFE F4 filled with thermally expanded silver graphite. Nowadays the world is experiencing a dramatical increase in the demand for heat-resistant polymer composite materials (PCM) possessing high-performance properties alongside with the small specific weight, that have found serial use within the most responsible technical branches, such as the air-, machine engineering, ship- and rock-et-building, i.e. the branches with special requirements to the product, including maximum strength, hardness, reliability, durability when working in the heavy conditions of loading, at high temperatures and aggressive environments. Thanks to chemical inertia towards virtually all the aggressive environments, with the exception of melts of alkali metals and trifluoride chlorine, PTFE F4 is the indispensable material for manufacturing the details of chemical equipment. The lowest friction coefficient of PTFE F4 and compositions based on it among all the other structural materials determines their wide use in mechanical engineering - in friction knots of mechanisms as bearings and support slips, mobile seals - piston rings, bands, that enhances the reliability and durability of machines and devices' mechanisms, providing their work under conditions of aggressive environments and cryogenic temperatures. The influence of the content of thermally expanded and silvery graphite on the physico-mechanical characteristics of graphite plastics based on PTFE F4 is studied. The tests showed that the developed composites exceed the initial polymer modulus of elasticity of 1.9, the Poisson's ratio is 1.8. That allows them to be used for mobile connections of machines and mechanisms, as well as for critical parts.

**Keywords:** polymer, filler, PTFE F4, thermally expanded, silver, graphite, graphite, physico-mechanical properties, modulus of elasticity, Poisson's ratio

**Введение.** Тенденции развития современной техники характеризуются, прежде всего, режимом повышением требований к качеству и эксплуатационным свойствам изделий и конструкций при снижении себестоимости их производства [1]. Разработка и применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения в последние десятилетие, является важной задачей в связи с активным развитием различных отраслей промышленности, поскольку ПКМ представляют собой перспективные конструкционные материалы, широко применяемые в изделиях общего и специального назначения, благодаря хорошему комплексу эксплуатационных характеристик, уменьшению отходов при изготовлении деталей и возможности регулирования свойств путем введения различных модифицирующих добавок (наполнителей) [2, 3].

**Актуальность литературных данных и постановка проблемы.** Использование изделий с бронзы, стали, баббита и др. в высоконагруженных узлах трения машин, работающих в самых различных условиях (например, нефтеперекачивающей станции, гидроэлектростанции, металлургическом прокатном стане) приводит к их отказам сопровождаемым аварийными ситуациями, катастрофами и значительными экономическими потерями. Полимерные композиционные материалы позволяют увеличить ресурс механизмов, повысить их надежность, снизить затраты при ремон-

те и эксплуатации. Среди направлений совершенствования конструкционных свойств материалов одним из важнейших является разработка материалов третьего поколения, способных противостоять внешним факторам и адаптироваться к ним, управлять своими свойствами [4, 5].

При выборе фторопласта Ф4 в качестве матрицы для графитопластов учитывались его антифрикционные и физико-механические свойства, термостойкость, стойкость к агрессивным средам, технологичность переработки [6].

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования являлось определение оптимального содержания наполнителей (серебристого и термически расширенного графитов) на физико-механические характеристики фторопласта Ф4.

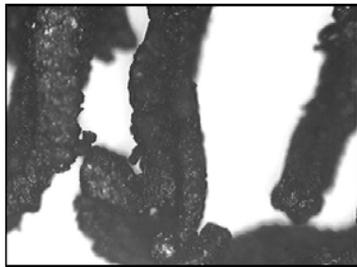
Задача исследования заключалась в разработке материалов с повышенными физико-механическими свойствами, высокой термостойкостью и стойкостью к агрессивным средам, технологичностью переработки.

**Материалы и методы исследования.** В качестве связующего использовали фторопласт Ф4 (ГОСТ 10007-80) – порошок белого цвета с насыпной плотностью 0,2–0,3 г/см<sup>3</sup> (табл. 1), который предназначается для изготовления изделий методом прямого прессования или спекания.

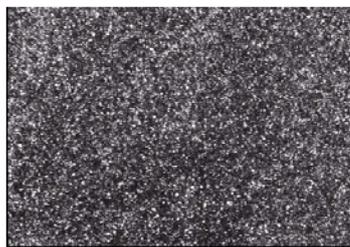
© А. И. Буря, С. В. Калиниченко, А. - М. В. Томина, Г. А. Баглюк. 2017

Таблица 1 – Свойства фторопласта Ф4 [7]

Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,12-2,2
Относительное удлинение при разрыве %	250-500
Твердость по Бринеллю, МПа	29,4-39,2
Коэффициент трения	0,04
Рабочая температура, К – максимальная/минимальная	533/4



а



б

Рис. 1 – Микроструктура графитов: а – термически расширенного, б – серебристого (×200)

В качестве наполнителей выступали:

– частички термически расширенного графита (ТРГ) толщиной 0,25 – 0,32 мм, длиной 1,5 – 3 мм (рис. 1, а). Уникальное сочетание эксплуатационных

свойств ТРГ, таких как широкий диапазон рабочих температур, высокая химическая стойкость, прекрасная уплотняющая способность, способствуют устойчивому росту потребления уплотнений на его основе многими отраслями промышленности [8];

– графит серебристый (ГОСТ 5279-74) – природный минерал (рис. 1, б), обладающий множеством уникальных свойств, огнеупорность, электропроводность, химическая стойкость, низкая твердость, пластичность, жирность, антипригарность, диамагнитность [9].

Приготовление композиций на основе фторопласта Ф4, (составы приведены в табл. 2), осуществлялось методом сухого смешивания в аппарате с вращающимся электромагнитным полем (0,12 Тл) с помощью ферромагнитных частиц, впоследствии извлекаемых методом магнитной сепарации.

Получаемую таким образом смесь таблетировали при комнатной температуре и давлении 60 МПа. Таблетки загрузали в пресс-форму, нагретую до 523 К, после чего температуру в пресс-форме поднимали до 640-650 К при давлении 60 МПа. Для фиксации формы изделие охлаждали под давлением до температуры 523 К и дальше выталкивали из пресс-формы.

Микрофотографии шлифов полученных образцов (рис. 2) подтверждают равномерное распределение наполнителей в полимерной матрице, что говорит о рациональном выборе метода формования композитов на основе фторопласта Ф4.

Наиболее важными характеристиками механических свойств при выборе материалов являются предел текучести, относительная деформация, модуль упругости при сжатии, коэффициент Пуассона [1].

Таблица 2 – Состав композиций материалов [10]

Обозначение материалов	Содержание, масс. %		
	Связующее Фторопласт Ф4	Наполнитель	
		Графит серебристый	Термически расширенный графит
1	100	-	-
2	92,5	7	0,5
3	87	11,5	1,5
4	82	15	3



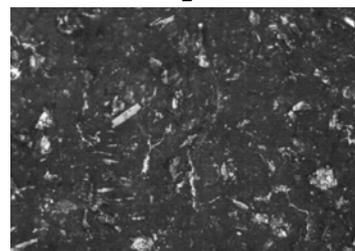
1



2



3



4

Рис. 2 – Микроструктура: 1 – фторопласта Ф4; 2, 3, 4 – графитопластов на его основе (×100)

Коэффициент Пуассона (1), модуль сдвига (2), модуль объемного сжатия (3), параметр Ламе (4) вычисляли по формулам:

$$\mu = \frac{(E - 6 \cdot \sigma_m)}{(6 \cdot \sigma_m + 2 \cdot E)}, \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}, \quad (2)$$

$$K = \frac{E}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\mu \cdot E}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости, МПа;  $\sigma_m$  – предел текучести при сжатии, МПа.

**Результаты исследования физико-механических свойств материалов.** Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  (рис. 3), чистого фторопласта Ф4 (1) и графитопластов (ГП) на его основе (3, 4), согласно классификации Херцберга [11] относятся к кривым V типа, который характеризует упругое гетерогенно – пластическое поведение. На участке кривых до 15 МПа, наблюдается полностью упругое поведение, материала. Далее форма кривых представляет собой результат конкурентного развития двух процессов. Первый процесс характеризуется пластическим течением, за счет разрушения кристаллической структуры фторопласта - перемещение дислокаций, в следствии которых одна часть кристалла сдвигается относительно другой, что приводит к деформационному упрочнению. Второй процесс характеризуется перестройкой разрушенной структуры в новую, за счет накопленных деформационных напряжений. Именно за счет конкурирования этих процессов и наблюдается изменение угла наклона кривых  $\varepsilon - \sigma$ . Дальнейшее поднятие угла наклона свидетельствует о стадии деформационного упрочнения: большее количество участков полимера приобретает новую структуру, что ведет к возрастанию сопротивления материала (подъем кривых на участке от 25 до 70 МПа).

Процессы деформационного разрушения в графитопласте 2 протекают схоже с кривыми 1, 3, 4, однако с преобладанием упругого гомогенно-

пластического поведения с необратимым изменением формы образцов, что наблюдается в конце участка на кривой. Это говорит о том, что малое содержание дисперсного модификатора в образце 2 приводит к охрупчиванию структуры материала.

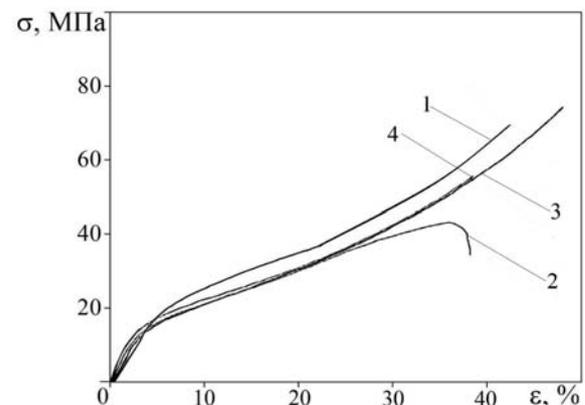


Рис. 3 – Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  1 - 4 соответствующие материалам 1 - 4

Исследование физико-механических свойств полученных материалов показало, что в идентичных условиях разработанные ГП, содержащие графит сербристый и ТРГ, превосходят, исходный полимер – фторопласт Ф4 (табл. 3) по модулю упругости в 1,36 – 1,9, модулю сдвига 1,23 – 1,7 раза. Уменьшение предела текучести в 1,06 – 1,2 раза, свидетельствует о повышении степени кристалличности композитов, связанной с ростом количества кристаллитов. В данном случае частицы ТРГ и ГС выступают новыми центрами зарождения кристаллов [4], равномерно распределяя напряжение в образце, о чем свидетельствует повышение коэффициента Пуассона, а чем ниже концентрация напряжений в материале, тем труднее разрушить образец за счет накопления необратимых повреждений.

Согласно Липатову [12], дисперсные наполнители обладают высокой поверхностной энергией, в следствии чего сильные граничные слои являются причиной улучшения адгезионного контакта между полимером и наполнителем. В нашем случае наиболее интенсивное повышение физико-механических свойств происходит при введении 15 масс. % ГС и 3 масс. % ТРГ, что объясняется высокими упругими характеристиками последнего.

Таблица 3 – Свойства композитов на основе фторопласта Ф4

Показатель	Композиция			
	1	2	3	4
Модуль упругости при сжатии, $E$ МПа	322,5	439	465	612
Предел текучести при сжатии, $\sigma_r$ МПа	29,2	24,4	24,3	27,5
Относительная деформации, $\varepsilon$ %	15,8	29	29	34
Модуль сдвига, $G$ МПа	136,8	170,8	179,3	231,8
Модуль объемного сжатия, $K$ МПа	167,4	353,5	381,2	566,7
Параметр Ламе, $\lambda$ МПа	76,3	234,6	262,3	412
Коэффициент Пуассона, $\mu$	0,179	0,29	0,297	0,32

**Выводы.** Таким образом в результате проведенных исследований можно заключить, что разработанные

композиты превосходят базовый полимер при оптимальном (15 масс. % ГС и 3 масс. % ТРГ) содержа-

нии наполнителей, по модулю упругости в 1,9, модулю сдвига 1,7, коэффициенту Пуассона 1,8 раза, что позволяет использовать их для подвижных соединений машин и механизмов, а также деталей ответственного назначения.

#### Список литературы

1. Баглиев, Б. Е. Возможности применения порошковых полимерных материалов для изделий различного функционального назначения [Текст] / Б. Е. Баглиев, А. В. Черноглазова, С. В. Темникова, И. Р. Тимебулатова, Д. Р. Биктимиров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 7. – С. 93–96.
1. 2. Будник, А. Ф. Структурированные нанообъекты политетрафторэтиленовых композитов [Текст] / А. Ф. Будник, П. В. Руденко, К. В. Берладир, О. А. Будник // Журнал нано- та електронної фізики. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 02022-1–02022-9.
2. Буря, О. І. Вплив режимів експлуатації на коефіцієнт тертя нанокомпозитів на основі фенілолу С-2, наповненого фулереновою сажею [Текст]: мат. ХХ між. науч. – техн. конф. / О. І. Буря, О. Ю. Кузнецова, В. І. Колесников, Н. О. Мяснікова // Машиностроение и техносфера XXI века, 2013 – № 1. – С. 106–108.
3. 4. Ширинзаде, И. Н. Особенности структурообразования модифицированных композиционных материалов [Текст] / И. Н. Ширинзаде, И. Г. Мамедова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4/5 (76). – С. 46–51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.48352
4. Нелюб, В. А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек [Текст] / В. А. Нелюб // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2013. – № 5. – С. 21–24.
5. 6. Утевская, Л. В. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения [Текст] / Л. В. Утевская // Вісник ХДАДМ. Серія «Дизайн». – 2010. – № 1. – С. 59–62.
6. Пугачев, А. К. Переработка фторопластов в изделия: Технология и оборудование [Текст] / А. К. Пугачев, О. А. Росляков. – Л.: Химия, 1987. – 168 с.
7. Терморасширенный графит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://szu.com.ua/novosti2/item/73-termorasshirennyj-grafit-ss/73-termorasshirennyj-grafit-ss>
8. Графит серебристый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ferro.in.ua/index.php?cat=407>
9. Пат. № 108379 UA, Підшипник кочення МПК F16C 19/00 [Текст] / Буря О. І., Калініченко С. В., Пустовалов Ю. П., Вишняков Л. Р. – № у 2016 00957; заявл. 05.02.2016.; опубл.

11.07.2016. Бюл. № 13. Режим доступа: <http://uapatents.com/4-108379-pidshipnik-kochennya.html>

10. Херцберг, Р. В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов [Текст] / Р. В. Херцберг. – М.: Металлургия. – 1989. – 560 с.
11. Лунатов, Ю. С. Межфазные явления в полимерах [Текст] / Ю. С. Лунатов. – К.: Наукова Думка, 1980. – 260 с.

#### Bibliography (transliterated):

1. Baghlyev, B. E., Chernoglazova, A. V., Temnykova, S. V., Tymebulatova, Y. R., Byktymyrov, D. R. (2011). Mozhylyvosti zastosuvannya poroshkovykh polimernykh materialiv dlia vyrobiv riznoho funktsionalnoho pryznachennia. Vestnyk Kazanskogo tekhnologhycheskogho unyversytet, 7, 93–96.
2. Budnyk, A. F., Rudenko, P. V., Berladyr, K. V., Budnyk, O. A. (2015). Strukturovani nanoobiektiv politetraforetilenovykh kompozytiv. Zhurnal nano- ta elektronnoi fizyky, 2 (7), 02022-1–02022-9.
3. Burya, O. I., Kuznetsova, O. Yu., Kolesnykov, V. I., Miasnikova, N. O. (2013). Vplyv rezhymiv ekspluatatsii na koefitsient tertia nanokompozytiv na osnovi fenilolu S-2, napovnenoho fulereno-voiu sazheiu. Mashynobuduvannia i tekhnosfera XXI stolittia, 1, 106–108.
4. Shirinzade, I. N., Mamedova, I. H. (2015). Osoblyvosti strukturo-ovsity modyfykovanykh kompozytsiinykh materialiv. Skhidno - Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii, 4 (5 (76)), 46–51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.48352
5. Neliub, V. A. (2013). Zastosuvannya polimernykh kompozytsi-nykh materialiv v sudnobuduvanni dlia remontu korabelnykh nadbudov. Remont. Vidnovlennia. Modernizatsiia, 5, 21–24.
6. Utevskaia, L. V. (2010). Polimerni kompozytsiini materialy konstrukttsiinoho pryznachennia. Visnyk KhDADM. Serija «Dizajn», 1, 59–62.
7. Puhachov, A. K., Rosliakov, O. A. (1987). Pererobka ftoroplastov v vyroby: Tekhnolohiia i ustatkuvannia. Leninhrad: Khimiia, 168.
8. Termorozshyrenyi hrafit. Available at: <http://szu.com.ua/novosti2/item/73-termorasshirennyj-grafit-ss/73-termorasshirennyj-grafit-ss>
9. Hrafit sribliastyi. Available at: <http://ferro.in.ua/index.php?cat=407>
10. Burya, O. I., Kalinichenko, S. V., Pustovalov, Yu. P., Vyshniakov, L. R. (2016). Pat. No. 108379 UA. Pidshypnyk kochennia MIPK F16C 19/00 No. u 2016 00957; declared: 05.02.2016; published: 11.07.2016, Bul. No. 13. Available at: <http://uapatents.com/4-108379-pidshipnik-kochennya.html>
11. Hertsberh, R. V. (1989). Deformatsiia i mekhanika ruinovannia konstrukttsiinykh materialiv. Moskva: Metalurhiia, 560.
12. Lipatov, Yu. S. (1980). Mizhfazni yavyscha v polimerakh. Kyiv: Naukova Dumka, 260.

Поступила (received) 20.04.2016

#### Библиографические описания / Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

**Исследование физико-механических характеристик графитопластов/ А. И. Буря, С. В. Калиниченко, А. – М. В. Томина, Г. А. Баглиук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 16(1238). – С.3–7.– Бібліогр.: 12назв. – ISSN 2079-5459.**

**Дослідження фізико-механічних властивостей графітопластів/ О. І. Буря, С. В. Калініченко, А. – М. В. Томина, Г. А. Баглиук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 16(1238). – С.3–7. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.**

**Investigation of physicomechanical characteristics of graphite plastics/ A. Burya, S. Kalinichenko, A. – M. Tomina, G. Bahliuk //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238).– P. 3–7. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459**

#### Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

**Буря Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, професор,, Дніпровський державний технічний університет, професор кафедри «Фізики конденсованого стану», вул. Днепростроевская 2, м Кам'янське, Україна, 51918; e-mail: [ol.burya@gmail.com](mailto:ol.burya@gmail.com)

**Буря Александр Иванович** – кандидат технических наук, профессор, Днепропетровский государственный технический университет, профессор кафедры «Физики конденсированного состояния», ул. Днепропетровская 2, г. Камыньское, Украина, 51918; e-mail: [ol.burya@gmail.com](mailto:ol.burya@gmail.com)

**Burya Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Professor, Professor of department of the condensed matter physics, Dneprovskii State Technical University; 2 Dniprobudivska str., 51918, Kamianske, Ukraine, e-mail: [ol.burya@gmail.com](mailto:ol.burya@gmail.com)

**Калініченко Сергій Володимирович** – асистент кафедри «Технології машинобудування», Дніпровський державний технічний університет вул. Дніпропетровська 2, м Кам'янське, Україна, 51918; e-mail: [Prof3g@rambler.ru](mailto:Prof3g@rambler.ru)

**Калиниченко Сергей Владимирович** – асистент кафедри «Технологии машиностроения», Днепропетровский государственный технический университет ул. Днепропетровская 2, г. Камыньское, Украина, 51918; e-mail: [Prof3g@rambler.ru](mailto:Prof3g@rambler.ru)

**Kalinichenko Serhii** – assistant of the department "Technology of Mechanical Engineering", Dneprovskii State Technical University; 2 Dniprobudivska str., 51918, Kamianske, Ukraine, e-mail: [Prof3g@rambler.ru](mailto:Prof3g@rambler.ru)

**Томіна Анна-Марія Вадимівна** – аспірант кафедри «Фізики конденсованого стану», Дніпровський державний технічний університет вул. Дніпропетровська 2, м Кам'янське, Україна, 51918; e-mail: [an.mtomina@gmail.com](mailto:an.mtomina@gmail.com)

**Томина Анна-Мария Вадимовна** – аспирант кафедры «Физики конденсированного состояния», Днепропетровский государственный технический университет ул. Днепропетровская 2, г. Камыньское, Украина, 51918; e-mail: [an.mtomina@gmail.com](mailto:an.mtomina@gmail.com)

**Tomina Anna-Mariia**, Phd student of department of the condensed matter physics, Dneprovskii State Technical University; 2 Dniprobudivska str., 51918, Kamianske, Ukraine, e-mail: [an.mtomina@gmail.com](mailto:an.mtomina@gmail.com)

**Баглюк Геннадій Анатолійович** – доктор технічних наук, Інститут Проблем Матеріалознавства ім. І.М. Францевича, старший науковий співробітник відділення «зносостійкість і корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів», вул. Крижанівського 3, м Київ, Україна, 03680 e-mail: [gbag@rambler.ru](mailto:gbag@rambler.ru)

**Баглюк Геннадий Анатольевич** – доктор технических наук, Институт Проблем Материаловедения им. И.М. Францевича, старший научный сотрудник отделения «Износостойких и коррозионностойких порошковых конструкционных материалов», ул. Крижановского 3, г. Киев, Украина, 03680 e-mail: [gbag@rambler.ru](mailto:gbag@rambler.ru)

**Bahliuk Gennady** – doctor of Engineering, Institute of Problems of Materials Science. THEM. Frantsevich, Senior Researcher, "Wear-Resistant and Corrosion-Resistant Powder Structural Materials", 3 Krizhanovsky str., 03680., Kiev, Ukraine, e-mail: [gbag@rambler.ru](mailto:gbag@rambler.ru)

УДК 621.798-18

**А. Н. КОЛОСКОВА**

## КЛАССИФИКАТОР МНОГОСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Запропоновано вдосконалени класифікацію матеріалів, які використовуються при формуванні багатошарового пакування, з одночасним використанням у якості класифікаційних ознак як матеріалів шарів, так і технологій їхнього приєднання. На основі запропонованої класифікації розроблений вдосконалений класифікатор багатошарових комбінованих пакувальних матеріалів. Побудова класифікатора проводиться за принципом поетапного додавання шарів з позначенням технологій, що використовуються, а також їхнього місця у багатошарових комбінованих структурах.

**Ключові слова:** багатошарові матеріали, комбіновані матеріали, технологія приєднання, класифікатор.

Предложена усовершенствованная классификация материалов, применяемых при формировании многослойной упаковки, с одновременным использованием в качестве классификационных признаков как материалов слоев, так и технологий их присоединения. На основе предложенной классификации разработан усовершенствованный классификатор многослойных комбинированных упаковочных материалов. Построение классификатора проводится по принципу поэтапного добавления слоев с указанием используемых технологий, а также их места в многослойных комбинированных структурах.

**Ключевые слова:** многослойные материалы, комбинированные материалы, технология присоединения, классификатор.

The problems connected to classification of multi-layer combined materials used in packaging industry are investigated. The term of multi-layer combined structure is developed meaning the combination of two and more separate layers of materials adjoined with each other. The main result of the investigation is in improvement of the unified classifier of multi-layer combined packaging materials based on their unified improved classification. The represented classifier is built on principle of step-by-step layers adding with used technologies being mentioned together with their places in multi-layer combined structure. Proposed improved classification of the materials forming the multi-layer combined packaging materials uses both materials and technologies of their adjoining as classification attributes. Classification and classifier of multi-layer combined materials are improved by using both materials and methods of their adjoining as classification attributes. Represented classifier application allows to provide full information on used multi-layer packaging materials in clear structured form for packaging specialist.

**Keywords:** multi-layer materials, combined materials, adjoining technology, classifier.

© А. Н. Колоскова. 2017