

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-57>
УДК 621.891

СВІДЕРСЬКИЙХмельницький національний університет **ВЛАДИСЛАВ**<https://orcid.org/0000-0003-4816-6977>e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com**СІРЕНКО ГЕННАДІЙ**

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

<https://orcid.org/0000-0003-1908-3769>e-mail: sirenko82@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАРИ ТЕРТЯ ПОРШЕНЬ-ЦИЛІНДР НАСОСУ АВТОМІЙКИ ВИСОКОГО ТИСКУ

Виконано аналіз роботи автомийки високого тиску і аксіального поршневого насосу, що входить до її складу. Обґрунтовано вибір матеріалу для заміни базового матеріалу поршня аксіального насоса. Виконані лабораторні дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів поршнів аксіально-поршневих гідромашин показали доцільність застосування в якості поршня або вкладишів циліндра матеріалів на основі ароматичного поліаміду ПМ-69 і ароматичного поліаміду Фенілон С-2. Встановлено, що матеріал на основі ароматичного поліаміду ПМ-69 (60 мас.%) і фторпласту-4 (40 мас.%) має найменшу інтенсивність зносу і може бути рекомендований в якості вкладишів циліндрів аксіальних поршневих насосів автомийки високого тиску.

SVIDERSKYI VLADYSLAV

Khmelnytsky National University

SIRENK GENNADIY

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE FRICTION STEAM PISTON-CYLINDER OF THE HIGH PRESSURE CAR WASH PUMP

The analysis of the operation of the high-pressure car wash and the axial piston pump included in its composition was performed. The pump body is usually made of any metal or alloy (for example, aluminum or stainless steel), and the pistons are made of specially hardened steel. Since such units have a short service life, the question of their motor resource is quite relevant. In professional car washes, pistons made of metal ceramics and heat-resistant composite polymer materials are promising.

The choice of material for replacing the base material of the axial pump piston is justified. According to the complex of physical and mechanical indicators, aromatic polyamide Fenilon-C2 and aromatic polyamide PM-69 prevail over most industrial plastics. Parts made of aromatic polyamide and polyimide withstand loads close to those permissible for non-ferrous metals and alloys, and their wear resistance is higher than that of metals. This made it possible to recommend them for use as high-pressure car wash pump pistons. Increasing the wear resistance of composite polymer materials based on aromatic polyamide Fenilon C-2 and aromatic polyimide PM-69 was carried out as a result of their modification with graphite and non-woven powders. Laboratory studies of the wear resistance of antifriction materials of pistons of axial-piston hydraulic machines showed the feasibility of using materials based on aromatic polyamide PM-69 and aromatic polyamide Fenilon C-2 as pistons or cylinder liners. It was found that the material based on aromatic polyimide PM-69 (60 wt.%) and fluoroplast-4 (40 wt.%). Aromatic polyimide PM-69 has much less water absorption - 0.2-0.3 wt. % and this is its significant advantage over the aromatic polyamide Fenilon C-2. In addition, the aromatic polyamide PM-69 has significantly less water absorption, and this is its significant advantage over the aromatic polyamide Fenilon C-2.

Key words: high-pressure car wash, wear resistance, axial piston pump, anti-friction materials based on aromatic polyamide Fenilon C-2 and aromatic polyamide PM-69, cylinder liner

Аналіз останніх досліджень

Автомийки стали обов'язковою приналежністю кожної станції технічного обслуговування. Мити машину, зовні, потрібно хоча б три рази на місяць. Витрати відбуваються досить істотними.

Проблема вирішується придбанням мийки високого тиску – мобільного побутового спеціалізованого агрегату для отримання водяного струменя високого тиску [1].

У конструкцію мийки високого тиску входять: електродвигун, насос, автомат вимикання двигуна, шланг для подачі води, шланг високого тиску з рукояткою-пістолетом, насадки, кабель підключення до мережі, корпус.

Вихідний вал двигуна через редуктор запускає в роботу аксіальний поршневий насос, здатний розвинути на виході тиск до 20 МПа [2] (Рис.1.) Насправді, такий тиск у побутових автомийках не використовується, зазвичай він обмежується діапазоном від 10 до 16 МПа.

Найчастіше використовується аксіальний поршневий насос з похилим диском. У литому корпусі встановлений блок циліндрів, по яких ходять поршні. Вони впираються у похилий диск, що обертається електродвигуном. Вихід циліндрів перемикається гідророзподільником. При обертанні диска він по чергову натискає і відпускає поршні, створюючи високий тиск на виході насоса. У деяких конструкціях осьових аксіальних насосів нерухомий диск, а обертається блок циліндрів, але принцип дії залишається таким же.

Корпус насоса може бути виготовлений з будь-якого металу або сплаву (наприклад, з алюмінію або нержавіючої сталі), а поршні – із спеціально загартованої сталі. У професійних агрегатах перспективне застосування поршнів з металокераміки і термостійких композиційних полімерних матеріалів [3–5].

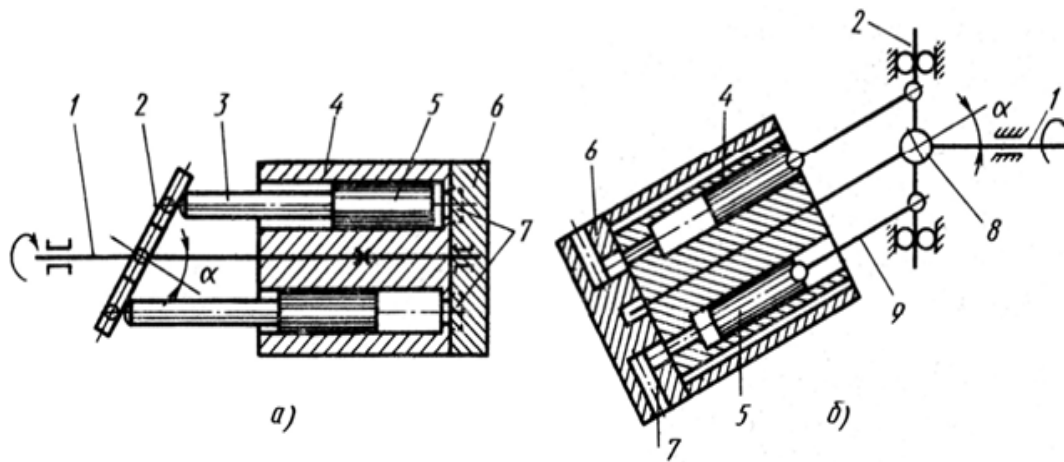


Рис. 1. Принципіальні схеми аксіально-поршневих гідромашин: а – з похилим диском; б – з похилим блоком циліндрів; 1 – ведучий вал, 2 – диск, 3 – шток, 4 – блок циліндрів, 5 – поршень, 6 – гідророзподільувач, 7 – пази, 8 – шарнір, 9 – шатун.

Аналізуючи роботу мийок високого тиску, потенційні покупці часто задають питання про їх моторесурс. Треба добре розуміти, що подібні агрегати мають невеликий термін експлуатації. Поршневі блоки швидко зношуються, двигуни перегріваються. Побутові мийки високого тиску зазвичай розраховані на 30–60 годин роботи.

Постановка проблеми

Мийка високого тиску, безсумнівно, корисний в побуті агрегат, але вимагає до себе підвищеної уваги. При постійному використанні вона заощадує кошти і допомагає утримувати автомобіль у чистоті. Її придбання виправдовує себе вже в перший рік експлуатації, тому підвищення зносостійкості пари тертя поршень – циліндр насоса автомийки високого тиску є досить актуальним.

Мета роботи

Мета роботи: підвищити зносостійкість пари тертя поршень – циліндр насоса автомийки високого тиску за рахунок застосування поршнів виготовлених з термостійких композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон-С2 або ароматичного поліаміду ПМ-69.

Виклад основного матеріалу

Області використання ароматичного поліаміду фенілон С-2 і ароматичного поліаміду ПМ-69 визначають, перш за все, комплекс їх фізико-механічних властивостей (Табл. 1) [6,7].

Завдяки своїм вязкопружним і міцнісним характеристикам вони є незамінними ущільнюючими матеріалами для виготовлення різного роду ущільнень, які експлуатуються при високому тиску та ударних навантаженнях. Деталі із ароматичних поліаміду і поліаміду витримують навантаження, близькі до допустимих для кольорових металів та сплавів, а їх зносостійкість вище, ніж металів. Це обумовило рекомендувати їх до застосування у якості поршнів насоса автомийки високого тиску.

За комплексом фізико-механічних показників ароматичний поліамід Фенілон-С2 і ароматичний поліамід ПМ-69 переважають більшість промислових пластмас. Фенілон С-2 через наявність в макромолекулах полімеру амідних зв'язків здатний сорбувати вологу з повітря і поглинати воду при знаходженні у воді та водних розчинах. Швидкість сорбції значно зростає при підвищенні температури (коефіцієнт дифузії змінюється від 10^{-11} за 20 °С до 10^{-8} за 100 °С), однак рівноважна кількість води, що поглинається не залежить від температури і складає для Фенілону С-2 9–10 мас. %. Поглинання води Фенілоном С-2 супроводжується збільшенням розмірів виробів, однак приріст їх об'єму завжди менше від об'єму води, що поглинається. Наприклад, Фенілон С-2 за рівноважного поглинання 12,7 об'ємних % змінює власний об'єм на 5,5 %. Лінійні розміри виробів при цьому збільшуються на 1,5–2,0 %. Необхідно відмітити, що при випробуванні на ударну в'язкість зволожених зразків Фенілону С-2 було виявлено значне зменшення крихкості зі збільшенням кількості сорбованої води. За вмісту води біля 6 % ударна в'язкість зростала до 300 кДж/м², тобто більше ніж у три рази в порівнянні з вихідними не зволоженими зразками.

Значно менше водопоглинання має ароматичний поліамід ПМ-69: 0,2–0,3 мас. % і в цьому його суттєва перевага перед ароматичним поліамідом Фенілон С-2.

Встановлено, що ароматичний поліамід Фенілон С-2 і ароматичний поліамід ПМ-69 доцільно модифікувати графітом, вуглецевими волокнами, нітридом бору, фторопластом-4 і іншими наповнювачами [8,9]. Так, виявлено, що ароматичний поліамід Фенілон С-2, модифікований графітом С-1 значно краще, ніж не модифікований, витримує дію високих температур.

При нагріванні у цього матеріалу в меншій мірі знижується міцність і особливо жорсткість. Модуль пружності не модифікованого матеріалу за 260 °С складає тільки 40 % від значення за 23 °С, в той час як модифікованого – більше 70 %. При введенні наповнювача спостерігається підвищення модуля пружності за кімнатної температури наближено на 20 %. Але при підвищенні температури цей ефект значно підсилюється: за 260 °С модуль пружності модифікованого матеріалу виявляється вищим, ніж не модифікованого, вже на 120 %.

Таблиця 1

**Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду
Фенілон-С2 і ароматичного полііміду ПМ-69**

Найменування і склад в мас.% матеріалу	Міцність на розтяг, МПа	Ударна в'язкість кДж/м ²	Водопоглинання при 298 К, мас. %	Коефіцієнт лінійного розширення, К ⁻¹ ·10 ⁶ (298–523 К)
1	2	3	4	5
Ароматичний поліамід Фенілон-С2	175-205	140-180	9-10	37,5
Ароматичний поліімід ПМ-69	120-130	-	0,2-0,3	60,0
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 80 Графіт С1 – 20	80-110	-	0,26-0,33	37,0
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 50 Графіт С1 – 25, Нітрид бору – 25	35-45	-	0,19-0,32	-
Ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 80, Вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М – 20	81,0	20-30	0,3	22,7-24,8
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 90 Графіт С1 – 10	211,6*	39,0	0,3	21,0
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 80 Графіт С1 – 20	205,2*	37,0	0,33	20,0
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 70 Графіт С1 – 30	192,7*	35,0	0,35	19,5
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 60 Графіт С1 – 40	144*	27,6	0,40	19,2
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 50 Графіт С1 – 50	118*	10,0	0,38	19,0
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 90 Фторопласт-4 – 10	219,2*	32,5	0,30	21,5
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 80 Фторопласт-4 – 20	204,0*	31,0	0,28	21,0
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 70 Фторопласт-4 – 30	189,0*	25,4	0,26	20,5
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 60 Фторопласт-4 – 40	136,4*	16,4	0,23	20,1
Ароматичний поліамід Фенілон-С2 – 50 Фторопласт-4 – 50	74,0*	1,8	0,20	19,5

* – міцність при стискуванні.

Однак, міцність при стискуванні композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 при їх наповненні графітом С-1 або фторопластом-4 в кількості, що перевищує 30 мас. % суттєво зменшується. Тому для того, щоб зберегти достатньо високу твердість і міцність матеріалу, а також найбільшу зносостійкість пропонується вводити до складу композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 і ароматичного полііміду ПМ-69 20–30 мас. % наповнювача [10,11].

Підвищення зносостійкості композиційних полімерних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 і ароматичного полііміду ПМ-69 здійснено в результаті модифікації їх порошками графітів та фторопластів. Випробування на зносостійкість проведені на обладнанні за схемою контакту – «сфера - площа». Режим змінних граничних питомих навантажень при постійному нормальному навантаженні, зразки висотою 10±0,1 мм і діаметром 10±0,1 мм з кінцевою сферою радіусу 6,35 міліметра контактували сферою по площині металевого контртіла діаметром 60±0,15 мм і висотою 10±0,15 мм; металеве контртіло було виготовлено із сталі 10X17H13M3T і оброблено до початкового середнього арифметичного відхилення профілю поверхні Ra = 0,2±0,03 мкм.

У цій схемі випробувань можна виділити дві характерні ділянки:

а) ділянка нелінійної залежності зношування від шляху тертя, коли питоме навантаження змінюється від навантаження, близького до твердості НВ матеріалу, до навантаження, яке відповідає граничній навантажувальній здатності позначення: шлях тертя S₁, інтенсивність зношування I₁;

б) ділянка лінійної залежності зношування від шляху тертя, коли граничне питоме навантаження в меншій степені знижується, ніж в першій ділянці, позначення: шлях тертя S₂, інтенсивність зношування I₂.

За результатами даного експерименту розраховували чинник зношування (інтенсивність об'ємного зношування) для шляху тертя ΔS_i:

$$I_i = \frac{\Delta V_i}{N_i \cdot \Delta S_i}, \quad (1)$$

де ΔV_i – зміна об'єму і-зразка на проміжку шляху тертя S_i

Нормальне навантаження на один зразок дорівнювало $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V=0,3$ м/с, температура, фіксована на відстані 0,5 – 1 мм від поверхні контртіла, $T = 313 \pm 2$ К при випробуванні в середовищі дистильованої води. Випробування виконували на шляху тертя Si.

Виконані дослідження антифрикційних властивостей композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон-С2 і ароматичного полііміду ПМ-69. Результати досліджень приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати дослідження зносостійкості композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон-С2 і ароматичного полііміду ПМ-69

Найменування, склад матеріалу, мас. %	Шлях тертя, S, км	Інтенсивність зносу, $I, \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$	Питоме навантаження, P, МПа
Ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 80, Вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М – 20	1	14,16	1,93
	0,5	16,20	2,30
	0,5	17,4	2,45
Ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 80, Графіт АРВ – 20	0,5	11,2	3,07
	0,5	18,5	2,41
	0,5	22,1	2,22
Ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 85, Фторопласт-4 – 15	1,0	7,5	2,61
	1,0	15,8	1,83
Ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 60, Фторопласт-4Д – 40	1,0	18,8	1,69
	1,0	21,2	1,60
Ароматичний поліімід ПМ-69	1,0	1,47	5,87
	5,0	2,16	2,20
	5,0	7,52	1,23
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 80, Вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М – 20	1,0	0,42	10,7
	5,0	0,81	3,51
	5,0	1,86	2,35
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 80, Графіт С-1 - 20	1,0	0,42	10,9
	5,0	0,51	4,40
	5,0	0,91	3,33
	5,0	1,24	2,87
	5,0	2,1	2,24
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 80, Фторопласт-4 – 20	1,0	0,86	7,55
	5,0	0,78	7,55
	5,0	1,23	2,87
	5,0	1,58	2,54
	5,0	2,27	2,17
Ароматичний поліімід ПМ-69 – 60, Фторопласт-4 – 40	1,0	0,31	12,5
	5,0	0,38	5,57
	5,0	0,62	4,05
	5,0	0,87	3,40
	5,0	1,12	3,01

Встановлено, що з досліджених композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2 найменшу інтенсивність зносу мають матеріали складу: ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 80 мас. % і вуглецеве волокно з тканини ТГН-2М – 20 %, а також ароматичний поліамід Фенілон С-2 – 85 мас. % і фторопласт-4 – 15 мас. %. Необхідно відмітити, що значно меншою інтенсивністю зносу характеризуються матеріали на основі ароматичного полііміду ПМ-69, наповнені 20 мас. % як графіту так і фторопласту-4. Найкращим за зносостійкістю з досліджених матеріалів є матеріал на основі ароматичного полііміду ПМ-69 (60 мас. %) і фторпласту-4 (40 мас. %). Однак, для цього матеріалу прогнозується зменшення міцнісних характеристик.

Висновки

1. Для виготовлення поршнів або вкладишів циліндрів аксіального насоса автомийки високого тиску доцільно застосування композиційних матеріалів на основі ароматичного полііміду ПМ-69 і ароматичного поліаміду Фенілон С-2.

2. Композиційні матеріали на основі ароматичного полііміду ПМ-69 характеризуються значно меншим водопоглинанням та інтенсивністю зносу ніж матеріали на основі ароматичного поліаміду Фенілон С-2.

3. Встановлено, що матеріал на основі ароматичного полііміду ПМ-69 (60 мас.%) і фторпласту-4 (40 мас.%) має найменшу інтенсивність зносу і може бути рекомендований у якості вкладишів циліндрів аксіальних поршневих насосів автомийки високого тиску.

Література

1. Автопалац: Мийки високого тиску – конструкція, принцип роботи і принцип вибору [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://autopalace.com.ua/porady/remont/myjky-vysokoho-tysku-konstruktsiya-pryntsy-p-roboty-i-pryntsy-vybor>.
2. Аксиальний поршневи насос – конструкція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3104329/page:3>.
3. Гетьманчук Ю.П. Хімія та технологія полімерів / Ю.П. Гетьманчук, М.М. Братичак. – Львів: Бескид Біт. – 2006. – 496 с.
4. Thermochemical study on the properties of polyimide BPADA-m-PDA / Yong-Ji Song, Shuang-He Meng, Fu-Dong Wang, Cai-Xia Sun, Zhi-Cheng Tan // Thermochim. acta. – 2002. – Т.389. – №1 – 2. – Р. 19–24.
5. Буря О.І. Полімерні композити: одержання, властивості, застосування / О.І. Буря. — Дніпропетровськ : Федорченко А. А., 2010. — 383 с.
6. Синтез, властивості і застосування полімерів та композитів на їх основі / за ред.. Бурі О. І. Вибрані праці. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 308 с.
7. Сіренко Г.О. Антифрикційні властивості термостійких полімерів та їх сумішей в умовах надграничних та граничних навантажень під час тертя з обмеженим мащенням / Г.О. Сіренко, Л.В. Базюк, О.В. Кузишин, В.П. Свідерський // Фізика і хімія твердого тіла. – 2010. – Т.11, №1. – С. 224–239.
8. Будник А.Ф. Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: Навчальний посібник / А.Ф. Будник, В.Б. Юскаєв, О.А. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 222 с.
9. Курта С.А. Хімія і технологія ВМС, навчальний посібник, рекомендовано МОН України / Курта С.А., Курганський В.С. – Івано-Франківськ: Видав. «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 291 с.
10. Від традиційних до нових матеріалів. Новітні матеріали і речовини ХХІ століття : навч. посіб. Ч. 5 / О.Т. Богорош, С.О. Воронов, В.М. Крамар, О.Г. Шайко-Шайковський. – Чернівці : ЧНУ, 2018. – 216 с.
11. Джурка Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали / Г.Ф. Джурка. – Полтава, Полтавський державний педагогічний університет імені В.Г. Короленка, 2008. – 58 с.

References

1. Avtopalats: Myjky vysokoho tysku – konstruktsiia, pryntsy-p roboty i pryntsy-p vyboru [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://autopalace.com.ua/porady/remont/myjky-vysokoho-tysku-konstruktsiya-pryntsy-p-roboty-i-pryntsy-vybor>.
2. Aksialnyi porshnevnyi nasos – konstruktsiia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://studfile.net/preview/3104329/page:3>.
3. . Hetmanchuk Yu.P. Khimiia ta tekhnolohiia polimeriv / Yu.P. Hetmanchuk, M.M. Bratychak. – Lviv: Beskyd Bit. – 2006. – 496 p.
4. Thermochemical study on the properties of polyimide BPADA-m-PDA / Yong-Ji Song, Shuang-He Meng, Fu-Dong Wang, Cai-Xia Sun, Zhi-Cheng Tan // Thermochim. acta. – 2002. – Т.389. – №1 – 2. – Р. 19–24.
5. Buria O.I. Polimerni kompozyty: oderzhannia, vlastyvosti, zastosuvannia / O.I. Buria. — Dnipropetrovsk : Fedorchenko A. A., 2010. — 383 p.
6. Syntezy, vlastyvosti i zastosuvannia polimeriv ta kompozytiv na yikh osnovi / za red.. Buri O. I. Vybrani pratsi. – Dnipropetrovsk: Porohy, 2005. – 308 p.
7. Sirenko H.O. Antyfritytsiini vlastyvosti termostiikykh polimeriv ta yikh sumishei v umovakh nadhranychnykh ta hranychnykh navantazhen pid chas tertia z obmezhennym mashchenniam / H.O. Sirenko, L.V. Baziuk, O.V. Kuzysyn, V.P. Sviderskyi // Fyzyka i khimiia tverdoho tila. – 2010. – Т.11, №1. – Р. 224–239.
8. Budnyk A.F. Nemetalevi materialy v suchasnomu suspilstvi: Navchalnyi posibnyk / A.F. Budnyk, V.B. Yuskaiev, O.A. Budnyk. – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2008. – 222 p.
9. Kurta S.A. Khimiia i tekhnolohiia VMS, navchalnyi posibnyk, rekomendovano MON Ukrainy / Kurta S.A., Kurhanskyi V.S. – Ivano-Frankivsk: Vydav. «Plai» TsIT Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka, 2010. – 291 p.
10. Vid tradytsiinykh do novykh materialiv. Novitni materialy i rehovyny KhKhI stolittia : navch. posib. Ch. 5 / O.T. Bohorosh, S.O. Voronov, V.M. Kramar, O.H. Shaiko-Shaikovskyi. – Chernivtsi : ChNU, 2018. – 216 p.
11. Dzhurka H.F. Polimerni kompozytsiini materialy / H.F. Dzhurka. – Poltava, Poltavskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni V.H. Korolenka, 2008. – 58 p.